



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



## **Université Amar Thelidji- Laghouat**

**FACULTE: Technologie**

**DEPARTEMENT : Génie- mécanique**

### **MEMOIRE DE MASTER**

**Présenté par : Chibani Ahmed & Khouiled Ibrahim**

**DOMAINE : Science et Technologie**

**FILIERE : Génie Mécanique**

**OPTION : Fabrication Mécanique & productique**

### **Thème**

**Séchage du raisin par l'utilisation d'un panneau  
solaire à air**

#### **Jury de soutenance :**

<b>Nom et Prénom</b>	<b>Grade</b>	<b>qualité</b>
Mechikel Mohamed	MCA	Président
Regue Hanane	MCB	Examineur I
Bensahal Djamel	MCB	Rapporteur

**Promotion : Juin - 2022**

# *Remerciements*

TOUT D'ABORD, NOUS VOUDRIONS DIRE QUE, GRÂCE À DIEU, NOUS AVONS  
PU METTRE EN ŒUVRE CE PROJET, FRUIT D'UN LONG TRAVAIL  
D'INVESTIGATION, D'ANALYSE ET DU DÉTAIL MALGRÉ TOUTES LES  
DIFFICULTÉS RENCONTRÉES..... DIEU MERCI.

NOS REMERCIEMENTS VONT EN PREMIER LIEU À NOTRE ENCADRANT, **DR.  
BEN SAHAL DJAMEL**, PROFESSEUR AU DÉPARTEMENT DE GÉNIE  
MÉCANIQUE DE L'UNIVERSITÉ DE LAGHOUAT, QUI A ACCEPTÉ  
L'ACCUSATION ET LA DIRECTION DE CETTE ÉTUDE, ET NOUS TENONS À LE  
REMERCIER POUR SES OBSERVATIONS, OBSERVATIONS ET CONSEILS  
AVISÉS QU'IL A SU NOUS DONNER TOUT AU LONG DE NOTRE PROJET ET  
POUR SA PATIENCE TOUT AU LONG.

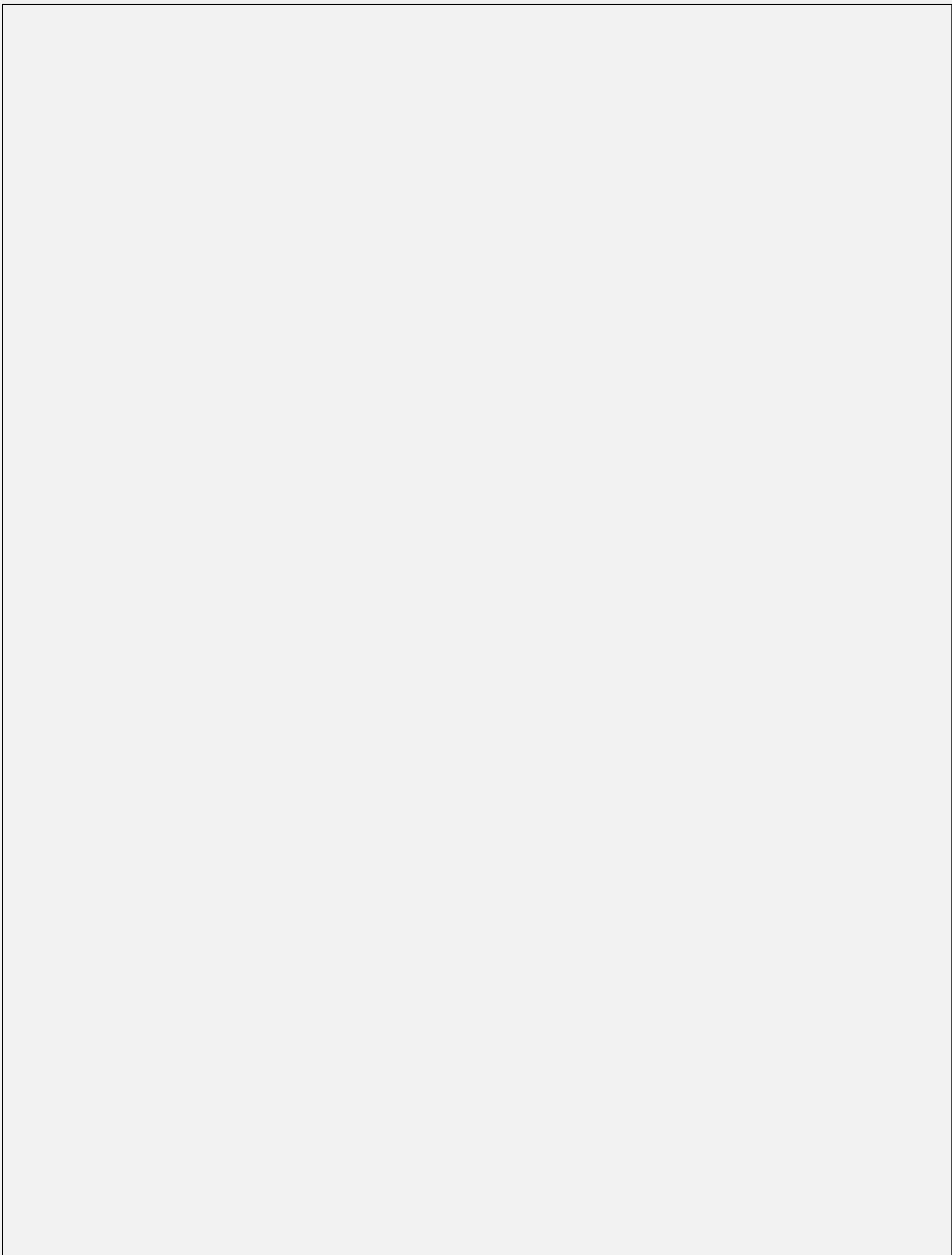
NOUS REMERCIONS ÉGALEMENT TOUS LES RESPONSABLES DU  
LABORATOIRE DE GÉNIE MÉCANIQUE AINSI QUE TOUS LES ENSEIGNANTS  
QUI ONT COLLABORÉ AVEC NOUS DU DÉBUT À LA FIN DE NOS ÉTUDES.

NOUS TENONS ÉGALEMENT À REMERCIER TOUTES LES PERSONNES QUI  
NOUS ONT AIDÉS ET ENCOURAGÉS À ÉCRIRE CETTE MÉMOIRE.

À TOUS CEUX QUI ONT CONTRIBUÉ, DE PRÈS OU DE LOIN, À LA  
RÉALISATION DE CET HUMBLE TRAVAIL.

MERCI

**Chibani Ahmed & Khouiled Ibrahim**



# *Dédicace*

J'ÉDIE CE MODESTE TRAVAIL EN PREMIER  
LIEU

À... MA CHÈRE MÈRE ET MON CHER PÈRE  
MES FRÈRES ET MES SŒURS .

AINSI QU'À TOUTE MA FAMILLE CHIBANI  
À TOUS LES AMIS SANS EXCEPTION DEPUIS  
L'ENFANCE JUSQU'AUJOURD'HUI.

À TOUTE LA PROMOTION DE FABRICATION  
MÉCANIQUE.

ET TOUS CEUX QUI CONNAISSENT CHIBANI  
AHMED.

**AHMED.**

# *Dédicaces*

JE DÉDIS CE MÉMOIRE

À MES PARENTS POUR TOUTE LEUR  
TENDRESSE, LEUR AMOUR AINSI QUE LEURS  
NOMBREUX SACRIFICES ET À MES FRÈRES ET  
MA CHÈRE SŒUR POUR LEURS SOUTIENS.

À MES PROFESSEURS ET À MON ENCADREUR.

À TOUS LES MEMBRES DE MA PROMOTION  
SPÉCIALEMENT MES AIMABLES AMIS.

ET TOUS CEUX QUI ONT CONTRIBUÉ DE PRÈS  
OU LOIN POUR CE TRAVAIL SOIT POSSIBLE,

IBRAHIM

## Liste des Figures

<b>Figure I.1</b> : Image de séchage de la tomate sous le soleil	4
<b>Figure I.2</b> : Etuve de séchage	5
<b>Figure I.3</b> : Schéma d'une micro-onde	6
<b>Figure I.4</b> : Illustration d'un séchoir solaire	8
<b>Figure I.5</b> : schéma représente types des séchoirs solaire	8
<b>Figure I.6</b> : Illustration d'un séchoir solaire directe	9
<b>Figure I.7</b> : Le séchoir solaire intégral	10
<b>Figure I.8</b> : Le séchoir solaire coquillage à trois claies	11
<b>Figure I.9</b> : illustration d'un séchoir solaire indirecte	12
<b>Figure I.10</b> : représentation schématique d'un séchoir tunnel	12
<b>Figure I.11</b> : Séchoir solaire indirect destiné au séchage des PAM, réalisé au CDER	13
<b>Figure I.12</b> : Illustration d'un séchoir solaire mixte	14
<b>Figure I.13</b> : Répartition des vignobles Algériens (en ha) selon le type de raisin produit	20
<b>Figure I.14</b> : Principales Wilayas productrices de raisin sec	21
<b>Figure II.1</b> : vue en avant du banc d'essai.	26
<b>Figure II.2</b> : Vue en avant du banc d'essai.	27
<b>Figure II.3</b> : Polystyrène expansé pour iso.	29
<b>Figure II.4</b> : Tôle galvanisée e=1.5mm [8]	31
<b>Figure II.5</b> : plaque MDF e=2.5 mm. [10]	33
<b>Figure II.6</b> : Le démarrage à partir de dessin technique	34
<b>Figure II.7</b> : Dressage des baguettes de bois	35
<b>Figure II.8</b> : Découpage des baguettes de bois selon les mesures	35
<b>Figure II.9</b> : L'état de surface du bois après le dressage et le découpage	36
<b>Figure II.10</b> : Découpage des angles 45°	36
<b>Figure II.11</b> : Support de forme L pour le maintien de la plaque contre plaquée	37
<b>Figure II.12</b> : Le montage de cadre de l'absorbeur	37
<b>Figure II.13</b> : La finition de montage de cadre du panneau par l'addition du mastique sur les coins pour assurer un assemblage dure et des joins sans vide	38
<b>Figure II.14</b> : Le montage du cadre supérieure et inférieure de l'absorbeur	38
<b>Figure II.15</b> : Le montage du cadre « supérieure et inférieure» de l'absorbeur	39
<b>Figure II.16</b> : Le cadre inférieure du panneau avec une contre plaquée de l'épaisseur de 3.6mm et l'huile	39
<b>Figure II.17</b> : L'addition du premier isolant « une plaque de polystyrène 40mm »	40
<b>Figure II.18</b> : Le cadre inférieure de l'absorbeur après l'addition d'une plaque de polystyrène e= 40mm + plaque MDF e=2.5mm + Tôle galvanisée e=1.5 mm	40
<b>Figure II.19</b> : La chambre de séchage avant l'addition d'isolation.	41
<b>Figure II.20</b> : Une autre vue de la chambre de séchage.	41
<b>Figure II.21</b> : L'intérieur de la chambre de séchage après l'addition des isolant « plaque depolystyrène e= 20mm + papier aluminium »	42

<b>Figure II.22 :</b> Perçage de la plaque de distribution de l'air	42
<b>Figure II.23 :</b> Le découpage des cornières et de tube carré	43
<b>Figure II.24 :</b> Utilisation de l'équerre pour avoir une bonne finition	43
<b>Figure II.25 :</b> Le soudage de la structure	44
<b>Figure II.26 :</b> le soudage de la structure métallique	44
<b>Figure III.1:</b> Comparaison entre la température d'entrée et la température ambiante.	48
<b>Figure III.2:</b> Comparaison entre l'humidité à l'entrée de la chambre et l'humidité ambiante.	49
<b>Figure III.3:</b> Comparaison entre la température d'entrée et la sortie dans la chambre	50
<b>Figure III.4:</b> Comparaison entre l'humidité d'entrée la chambre et l'humidité a la sortie de la chambre.	50
<b>Figure III.5:</b> Température moyenne dans la chambre.	51
<b>Figure III.6:</b> Humidité moyenne dans la chambre.	52
<b>Figure III.7:</b> Température moyenne de produit.	53
<b>Figure III.8:</b> Humidité moyenne de produit.	53
<b>Figure III.9:</b> Perte de masse.	54
<b>Figure III.10:</b> Début de séchage du raisin.	55
<b>Figure III.11:</b> Fin de la journée 1 de séchage du raisin	55
<b>Figure III.12:</b> Début de la journée 2 de séchage du raisin.	56
<b>Figure III.13:</b> Fin de la journée 2 de séchage du raisin.	56
<b>Figure III.14:</b> Début de la journée 3 de séchage du raisin.	57
<b>Figure III.15:</b> Fin de la journée 3 de séchage du raisin.	57
<b>Figure III.16:</b> Début de la journée 4 de séchage du raisin.	57
<b>Figure III.17:</b> Fin de la journée 4 de séchage du raisin.	57
<b>Figure III.18:</b> La variation de la masse pour le raisin durant la convection naturelle.	58
<b>Figure III.19:</b> Début de séchage du raisin.	59
<b>Figure III.20:</b> Fin de la journée 2 de séchage du raisin	59
<b>Figure III.21:</b> Fin de la journée 3 de séchage du raisin.	60
<b>Figure III.22:</b> Fin de l'opération de séchage du raisin.	60

## Liste des Tableaux

<b>Tableau I.1</b> : Composition moyenne pour 100g de raisin sec	18
<b>Tableau I.2</b> : Production annuelle moyenne du raisin en Algérie	20
<b>Tableau I.3</b> : Quantités de fruits secs importés pour l'année 1997	21
<b>Tableau II.1</b> : caractéristiques du matériau verre. [11]	33
<b>Tableau III.1</b> : Evolution de l'opération de séchage du raisin pour une convection naturelle (à l'air).	59

# Sommaire

<b>Liste des figures</b>	i
<b>Liste des tableaux</b>	iii
<b>Sommaire</b>	iv
<b>Introduction générale</b>	vi

## **Chapitre I**

## **Généralité sur le séchage**

I.1. Définition du séchage	1
I.2. Le séchage et l'énergie	2
I.3. Les domaines d'utilisations	2
I.4. Technologies de séchage	4
I.4.1. Les modes de séchage	4
I.4.1.1. Séchage Thermique	4
I.4.1.2. Non thermique	6
I.5. Le séchage solaire	7
I.5.1. Description d'un séchoir solaire	7
I.5.2. Classification des types de séchoirs solaires	8
I.5.3. Les séchoirs solaires directs	8
I.5.4. Type de séchoirs directs	9
I.5.5. Les séchoirs Indirects	11
I.5.5.1. Types des séchoirs indirects	12
I.5.6. Séchoirs solaire hybrides	13
I.5.7. Les séchoirs solaires mixtes	14
I.6. Avantages et inconvénients du séchage	14
I.7. Généralités sur le raisin sec	16
I.7.1. Description du raisin sec	16
I.7.2. Classification du raisin sec	16
I.7.3. Taxonomie	17
I.7.4. Intérêt nutritionnel	17
I.8. Le raisin dans le monde	18
I.8.1. Répartition des vignobles	19
I.8.1.1. Production	20
I.8.1.2. Consommation	21
I.8.1.3. Importations	21
I.8.1.4. Perspectives de la viticulture	22
I.9. Conclusion	23
Références	24

## **Chapitre II**

## **Fabrication du panneau solaire de séchage**

II.1. Introduction	26
II.2. Le banc d'essai fabriqué	26
II.3. L'isolation et les matériaux utilisés	28
II.3.1. La résistance thermique	28

II.3.2. La conductivity thermique	28
II.3.3. L'écoulement à l'air	28
II.3.4. Le bois	28
II.3.4.1. Le polystyrène	29
II.3.5. La différence entre un polystyrène expansé et un polystyrène extrudé [6]	30
II.3.5.1. Les avantages du polystyrène expansé	30
II.3.5.2. Les avantages du polystyrène extrudé	31
II.3.6. La tôle galvanisée (Galvanized Sheet Metal)	31
II.3.7. Le MDF [9]	32
II.3.7.1. Les avantages des panneaux de fibres à densité moyenne [9]	32
II.3.8. Le verre	33
II.4. La chambre de séchage	34
II.5. Fabrication de panneau solaire et chambre de séchage	34
II.5.1. La partie de la boiserie	34
II.5.2. la partie de la structure métallique	43
II.6. Conclusion	45
Références	46

### **Chapitre III**

### **Résultats et discussion**

III.1. Introduction	47
III.2. Résultats et discussion	47
III.2.1. Comparaison entre la température d'entrée dans la chambre et la température ambiante	48
III.2.2. Evolution de l'humidité d'entrée dans la chambre et l'humidité ambiante	49
III.2.3. Comparaison entre la température d'entrée dans la chambre et la sortie dans la chambre	49
III.2.4. Evolution de l'humidité d'entrée dans la chambre et l'humidité a la sortie de la chambre	50
III.2.5. La température moyenne dans la chambre	51
III.2.6. L'humidité moyenne dans la chambre	51
III.2.7. La température moyenne de produit	52
III.2.8. L'humidité moyenne de produit	53
III.2.9. La perte de masse	54
III.10. Conclusion	61
<b>Conclusion générale</b>	62

## Introduction générale

Le séchage des fruits et légumes est l'une des plus anciennes méthodes de conservation des aliments connues par l'homme, car il a un grand effet sur la qualité des produits secs.

L'objectif majeur dans le séchage des produits agricoles est la réduction de la teneur en humidité à un niveau qui permet le stockage en toute sécurité sur une période prolongée. Il entraîne également une réduction du poids ainsi que de volume, ce qui réduit l'emballage, le stockage et les frais de transport (Heldman, Lund et al., 2006).

Le choix des aliments à sécher s'est posé sur la tomate et le gingembre. Premièrement, pour leur cultivation très répandue dans le monde, pour leurs richesses en éléments nutritifs et surtout pour leurs vertus médicinales qui permettent le traitement de diverses maladies telle que le cancer de la prostate, ainsi que les diarrées et nausées. Deuxièmement pour leur disponibilité irrégulière. Cependant, leur conservation par procédé de séchage permet de la continuité dans leur disponibilité (D. Mennouche, B. Bouchekima et al., 2007),(Gigon 2012),(Liu, Suzuki et al., 2000).

Le séchage solaire, comme moyen de conservation des aliments, a été considéré le système le plus utilisé de l'énergie solaire. Le séchage des fruits, légumes et viandes 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, viandes, poissons et d'autres produits alimentaires destinés à la consommation (Bonazzi, Dumoulin et al., 2008).

Une grande partie de l'offre du monde en fruits et légumes secs continue à être séchée selon la manière traditionnelle sans l'aide technique. Cependant, la production à grande échelle limite l'utilisation de séchage normal en plein air. La méthode traditionnelle du séchage présente des problèmes, parmi ces derniers, le manque de capacité de commander le processus de séchage correctement, l'incertitude du temps, le coût de la main d'œuvre élevé, la nécessité de zones vastes, l'infection par des insectes et autres corps étrangers. Les solutions impliquant l'énergie

solaire ont proposé des dispositifs de collection, ou des séchoirs solaires pouvant réduire les inconvénients cités précédemment et permettent aussi l'amélioration de la qualité des produits (Boulemtafes, 2011).

L'objectif de notre travail consiste à l'exploitation du panneau solaire à air fabriqué dans l'atelier de génie-mécanique pour le séchage du raisin et voir l'effet du calibre (grosueur du grain) du raisin sur le temps de séchage et la qualité du produit à la fin de l'opération. Désormais, le manque du produit sur le marché, nous a laissé que le choix du gros calibre et le séchage à l'air. Une comparaison entre les deux procédés (convection forcée et convection naturelle) est réalisée pour optimiser le temps et la qualité.

Note mémoire se compose de trois chapitres :

Le premier chapitre contiens des généralités sur le séchage et son domaine d'utilisation avec une vue sur la procédure de séchage.

Dans le deuxième chapitre nous avons parlé de la procédure de fabrication de panneau solaire de séchage et la matière première utilisée.

Le dernier chapitre a été consacré à l'exploitation du panneau solaire à air pour l'opération de séchage du raisin et explique et interprète les résultats expérimentaux obtenus, qui ont été traduits en courbes et donnez des explications sur les résultats obtenus.

Et finalement en termine par une conclusion générale.

## **Chapitre I**

# ***Généralités sur le séchage***

### I.1. Définition du séchage:

Par définition, le séchage est une technique de purification visant à débarrasser un mélange homogène ou hétérogène d'un constituant liquide. Sécher un produit consiste à apporter l'énergie nécessaire à la vaporisation de l'eau du produit (chaleur latente de vaporisation), puis à évacuer la

vapeur formée. Le but d'une telle opération est, soit de rendre à une substance traitée ses qualités mécaniques ou physico-chimiques initiales, soit de faciliter son stockage et sa conservation.

Il existe plusieurs procédés de séchage : les procédés mécaniques (presse, décantation ou centrifugation), les procédés physico-chimiques (adsorption, absorption, réfrigération et séchage par évaporation). Ce dernier consiste à transférer le liquide à éliminer dans la phase gazeuse qui le baigne.

Le changement de phase exige un apport de chaleur assez considérable. Il peut être direct (chauffage par échangeur, par effet joule, par radiations infrarouges ou par courants de haute fréquence) ou bien c'est la phase gazeuse elle-même qui assure l'apport de chaleur nécessaire (air chaud). Le séchage par évaporation est un processus très complexe qui fait intervenir un double transfert, le premier est un transfert de chaleur destiné à réduire la teneur en eau dans le produit et le second est un transfert de masse qui implique un déplacement du fluide de l'intérieur du produit vers sa surface. Ces deux transferts exigent un apport de chaleur considérable, d'où l'intérêt d'utiliser une source de chaleur renouvelable. C'est le cas des séchoirs solaires (**Boulemtafes, 2011**)[1].

Selon l'utilisation le séchage dans les industries agro-alimentaires a de multiples buts [2] :

- Accroître la durée de conservation des produits (viandes, poissons, fruits, graines, pâtes, épices, thé, champignons, ...).
- Stabiliser les produits agricoles (maïs, luzerne, riz, lait, ...) et amortir le caractère saisonnier de certaines activités.
- Transformer les produits par des réactions biochimiques ou biologiques (produits de salaison, touraillage de malt, ...).
- stabiliser des coproduits industriels pour l'alimentation animale (pulpes de

sucrerie ou d'amidonnerie, drêches de brasserie, farines de viande et de poisson, lactosérum).

- produire des ingrédients ou des additifs pour une seconde transformation, également appelés produits alimentaires intermédiaires (PAI). Ce sont par exemple des légumes pour les potages, des oignons pour la charcuterie, des fruits pour la pâtisserie, des épaississants, arômes, colorants [2].

## **I.2. Le séchage et l'énergie:[3]**

Afin de sécher un produit, liquide ou solide, il faut fournir de la chaleur, de l'énergie, globalement on considère que les opérations de séchage consomment environ 15 % de l'énergie industrielle dans les pays développés. Cette part est importante et il faut essayer de trouver les moyens d'optimiser les procédés, dans une démarche économique mais aussi écologique.

Toutes les parties d'un même produit n'ont pas le même comportement vis à vis de l'eau. Cela varie aussi d'un produit à l'autre, suivant sa composition biochimique : certaines structures ou molécules retiennent l'eau plus que d'autres. Lorsque le produit est très humide, l'eau qu'il contient est qualifiée de "libre" et lors du séchage, l'eau libre se comporte comme de l'eau pure. Il suffit pour la vaporiser d'environ 2250 kJ/kg. Lorsque le produit est plus sec, l'eau est davantage retenue par celui-ci et on la qualifie de "liée". L'évaporation de cette eau est plus difficile et demande plus d'énergie.

Au cours du séchage c'est d'abord l'eau libre qui va être évaporée, puis l'eau de plus en plus liée : aussi la quantité d'énergie nécessaire pour vaporiser la même quantité d'eau augmente au cours du séchage (**Léonard Angélique, 2002**)[3].

## **I.3. Les domaines d'utilisations:**

Si le séchage consomme autant d'énergie c'est qu'il intervient dans de nombreuses industries. Les produits concernés nous touchent souvent de près dans la vie de tous les jours. Le choix d'une opération de séchage peut être effectué pour diverses raisons:

- le produit humide se conserve mal.
- le liquide doit être enlevé pour le déroulement de la suite du procédé.
- l'enlèvement de l'eau donne une texture et une structure finale du produit et constitue une étape à part entière du procédé.

✓ **Industrie agroalimentaire**

Une grande partie des aliments que nous consommons ont subi une opération de séchage, et ce dernier peut être une étape nécessaire à la production du produit ou un rôle dans la conservation de l'aliment. On peut citer par exemple :

- la viande fumée : saucisson, jambon...
- les fromages : séchage dans une ambiance contrôlée
- le sucre cristallisé est obtenu par évaporation
- les légumes (pois, poivron...) et fruits secs (pruneaux, raisins, abricots, figes...)
- les jus de fruits sont préparés à partir d'un concentré obtenu par vaporisation
- café, cacao, riz et autres céréales, feuilles de thé, épice, certains biscuits

apéritifs Actuellement, il existe plus de 200 types de séchoirs industriels dans le secteur alimentaire.

### ✓ **Industrie papetière**

Dans ce type d'industrie, le papier est obtenu par séchage de la pâte à papier sur des rouleaux rotatifs chauffés.

### ✓ **Industrie du bois**

Le bois qui vient d'être abattu et scié contient un fort degré d'humidité qui interdit son utilisation immédiate dans les conditions correctes, si non on s'expose à des changements de taille et de forme du bois.

### ✓ **Bouchons de liège**

Afin de garantir un meilleur vieillissement des vins, une attention toute particulière est portée à la qualité des bouchons de liège. Au cours de leur fabrication, l'opération de séchage doit être parfaitement maîtrisée au risque de donner un goût de moisi au vin.

### ✓ **Matériaux de construction et industrie céramique**

Par exemple : les briques, le carrelage, les assiettes, les bols et les plats.

### ✓ **La biotechnologie et l'industrie pharmaceutique**

Comme la fabrication de la levure en poudre, des antibiotiques et le séchage de principes actifs sous forme de poudre avant pastillage (Vasseur, 2009) [4].

## I.4. Technologies de 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 méthodes de séchage ont été adaptées à différentes situations, d'utilisation facile et pratique, les paramètres opératoires des procédés de séchage peuvent être aisément contrôlés. Ces procédés dits classiques notamment le séchage au soleil et le séchage à l'air sont les plus couramment utilisés pour les fruits et légumes (Thu Ha Nguyen, 2016) [5], il existe aussi d'autres modes de séchage qui sont définis ci-dessous.

### I.4.1. Les modes de séchage:

#### I.4.1.1. Séchage Thermique:

##### ✓ 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 médiocres 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) [5].



**Figure I.1** : Image de séchage de la tomate sous le soleil. [5]

### ✓ 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) [6].

### ✓ 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) [7].

### ✓ 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) [7].

### ✓ 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) [4].



Figure I.2 : Etuve de séchage .[4]

### ✓ 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 convertit 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) [8].

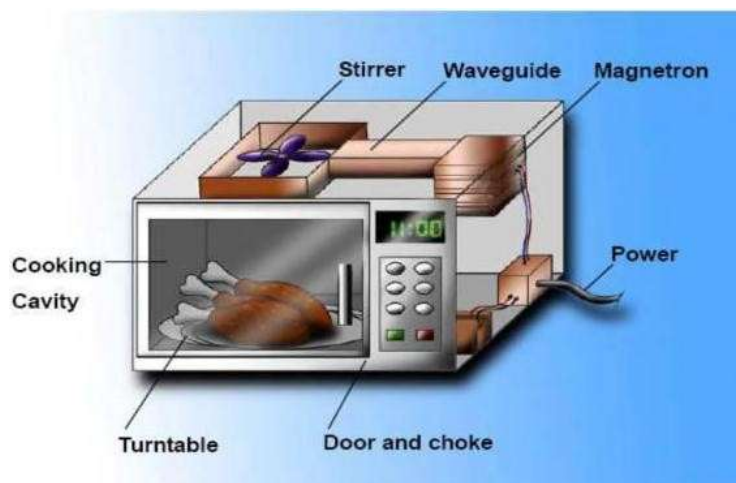


Figure I.3 : Schéma d'une micro-onde (Mathavi, Sujatha *et al.* 2013) [8].

#### I.4.1.2. Séchage non thermiques:

##### ✓ 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) [4].

### ✓ 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**) [9].

## I.5. Le séchage solaire:

Dans les pays en développement, le séchage au soleil est une méthode populaire, efficace et économique utilisée pour le séchage et la conservation des produits agricoles, alimentaires et de nombreux autres produits. Le séchage des produits alimentaires agricoles par l'énergie solaire est une application rentable. Par contre le séchage industriel consomme des grandes quantités de combustibles traditionnels pour fournir de l'air chaud (**Midilli et Kucuk, 2003**) [10].

Le séchage se fait de plusieurs manières. La machine à sécher existe sous différentes formes en fonction du mode de transfert de chaleur, le prix, la forme d'énergie consommée et le mode de circulation du fluide (**Amelin et Souriau, 2014**) [11].

### I.5.1. Description d'un séchoir solaire:

Le séchoir solaire est une construction qui capte les rayons solaires pour sécher les aliments disposés à l'intérieur. Il nous permet comme le déshydrater de sécher tous les fruits, légumes, herbes, poissons et viandes. Il est souvent construit en bois avec une plaque de verre qui sert à reproduire un effet de serre à l'intérieur du séchoir.

Le séchoir solaire a un potentiel important dans le secteur agricole, où il est utilisé pour le séchage des légumes, des fruits et des plantes médicinales. Ainsi minimiser la dépendance sur le séchage au soleil et le séchage industriel, d'où économiser d'énormes quantités de fossiles (**Mann, Harris et al., 2004**) [12].

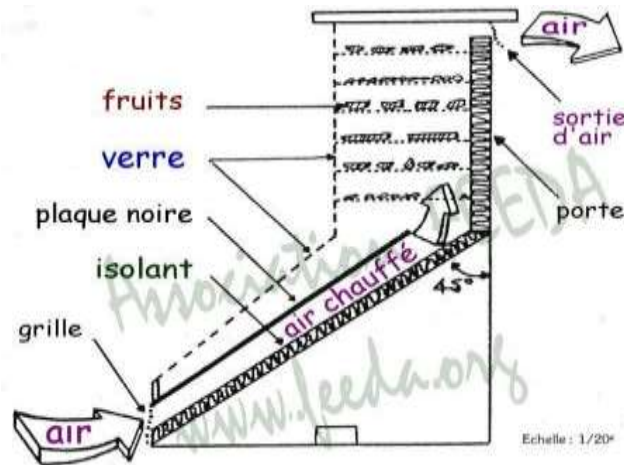


Figure I.4: Illustration d’un séchoir solaire (El-Sebail, Aboul-Enein et al. 2002) [13].

**I.5.2. Classification des types de séchoirs solaires:**

Selon la forme d’énergie consommée, il y a des séchoirs électriques, des séchoirs à gaz et des séchoirs hybrides. Plusieurs gammes de séchoirs solaires existent : les séchoirs directs, indirects et mixtes.

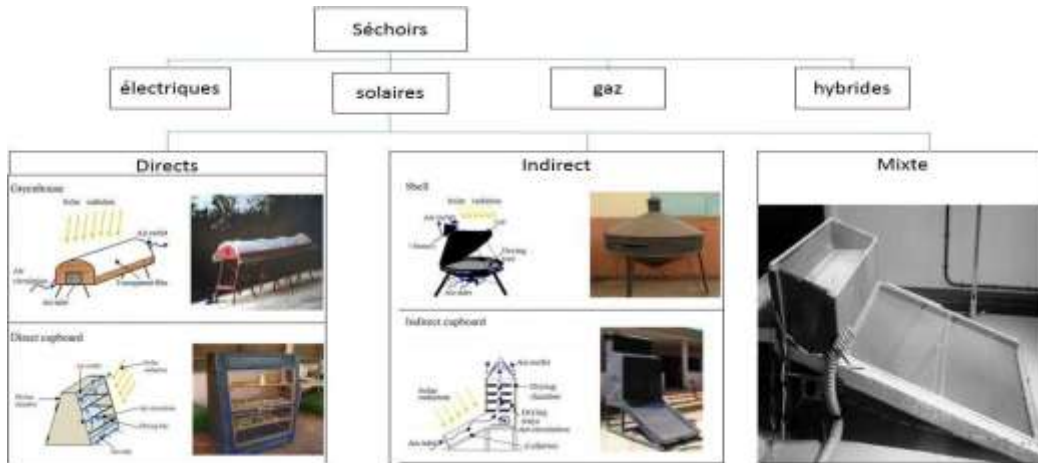


Figure I.5 : schéma représente types des séchoirs solaire (Vasseur, 2009) [4].

**I.5.3. Les séchoirs solaires directs:**

Dans ce type de séchoirs, les rayons solaires frappent directement les produits. Et d’après la figure (04) le séchoir solaire direct se compose d’une seule pièce qui fait office à la fois d’une chambre de séchage et de collecteur solaire. Le fond de la chambre de séchage est peint en noir pour augmenter la capacité d’absorption de chaleur, une feuille de plastique ou polyéthylène transparent sert généralement de toit mais on peut également utiliser d’autres

matériaux plus chers comme le verre ou les plastiques spéciaux (polyéthylènes agricoles). Néanmoins l'interaction directe « rayonnement solaire – produit » engendre la dégradation de la qualité du produit et la destruction des nutriments (Madhlopa, Jones *et al.*, 2002) [14].

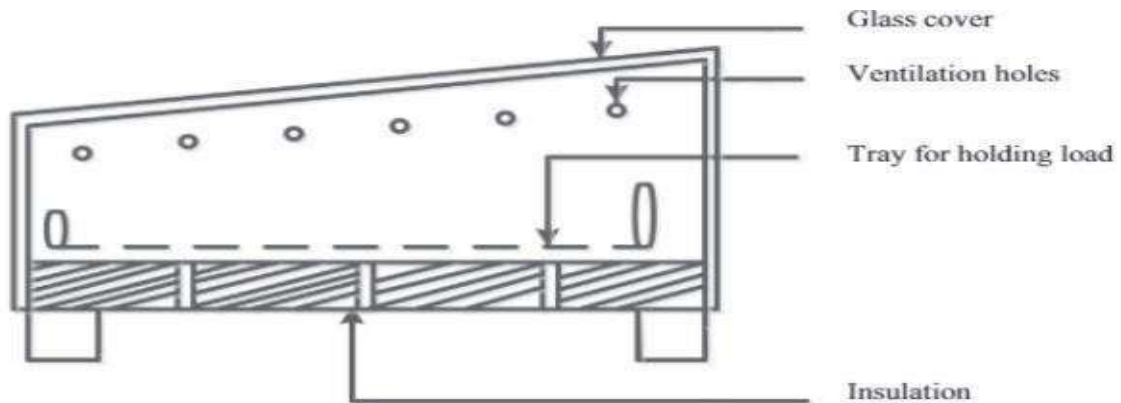


Figure I.6: Illustration d'un séchoir solaire directe (Amelin and Souriau 2014) [11].

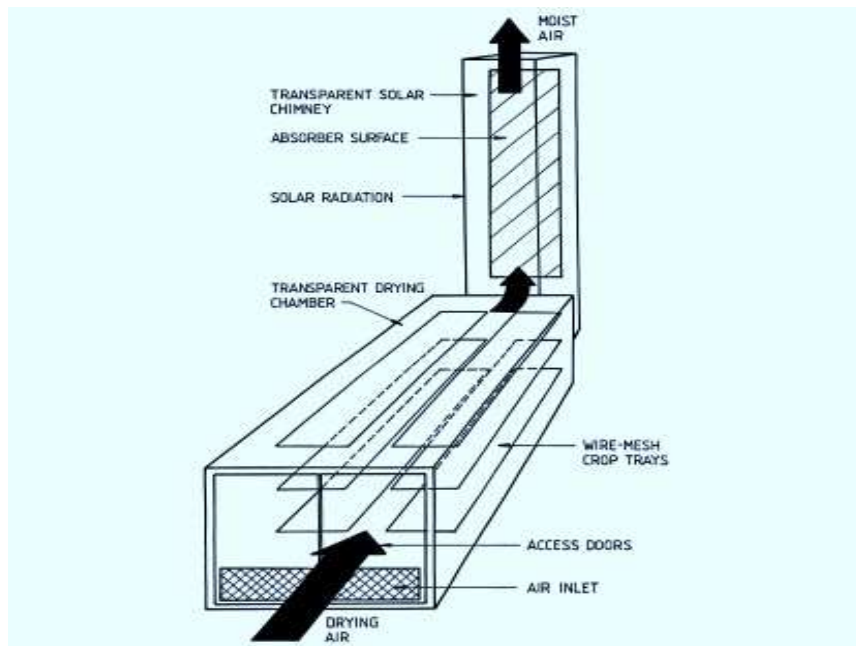
#### I.5.4. Type de séchoirs directs:

##### ✓ Le séchoir intégral à convection naturelle

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

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

Le séchoir est équipé par une cheminée solaire qui peut être utilisée pour augmenter la force de flottabilité imposée au courant d'air et donc fournir un flux important d'air et une vitesse de séchage plus grande (Ekechukwu et Norton, 1999) [15].



**Figure I.7:** Le séchoir solaire intégral (Amelin and Souriau 2014) [11].

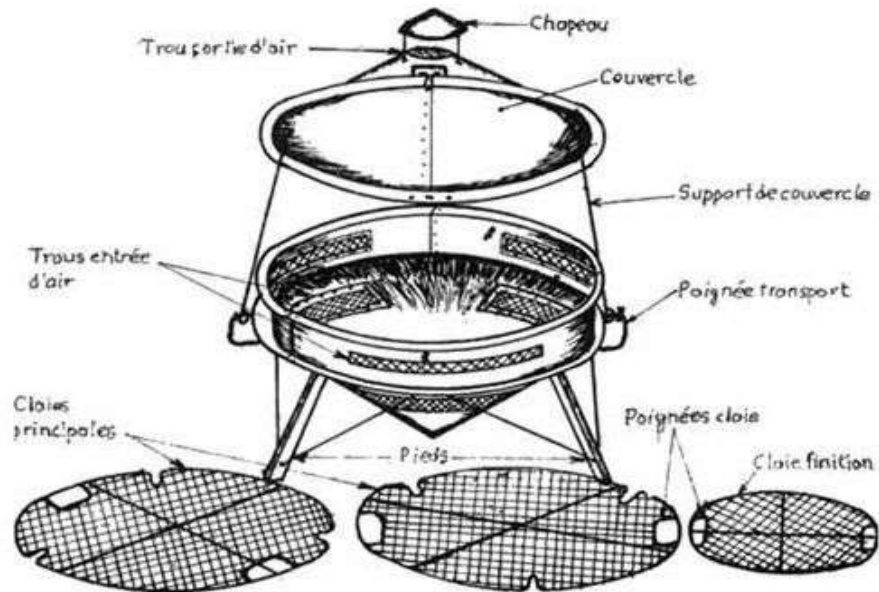
### ✓ La boîte de séchage ou séchoir coffre

Le séchoir à coffre est un simple séchoir facile à construire par les artisans, en utilisant des matériaux disponibles localement, il est destiné généralement pour la préservation des fruits, Légumes, poissons et de la viande (Pangavhane et Sawhney, 2002) [16].

### ✓ Le séchoir solaire "coquillage"

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

Ce type de séchoir est composé de deux cônes métalliques reliés par une charnière, la tôle peinte en noir assure une bonne captation du rayonnement solaire, des trous perforés dans la tôle inférieure et supérieure permettant la circulation de l'air. L'efficacité du séchoir dépend des conditions climatiques (Mennouche, 2006) [17].



**Figure I.8:** Le séchoir solaire coquillage à trois cloies (Mennouche, 2006) [17].

### I.5.5. Les séchoirs Indirects:

Les séchoirs solaires indirects ont un capteur solaire séparé et une unité de séchage. Elles sont généralement constituées de quatre éléments, à savoir, capteur solaire, l'unité de séchage, un ventilateur, et de conduits de circulation d'air. Unité de collecteur solaire est utile pour atteindre des valeurs de température plus élevées avec un air contrôlé.

Cependant, on observe également que, dans des conditions de fonctionnement des températures plus élevées, l'efficacité du capteur solaire est réduite. En général, la plupart des capteurs solaires sont constitués de bois ou des métaux avec un revêtement approprié de matériaux absorbants tels que polyéthylène noir pour une meilleure absorption de la chaleur nécessaire au séchage du produit. (Mann, Harris *et al.*, 2004) [12].

Le produit n'est pas exposé directement au soleil, il est même à l'abri de la lumière, ce qui autorise une meilleure préservation des qualités nutritionnelles de l'aliment.

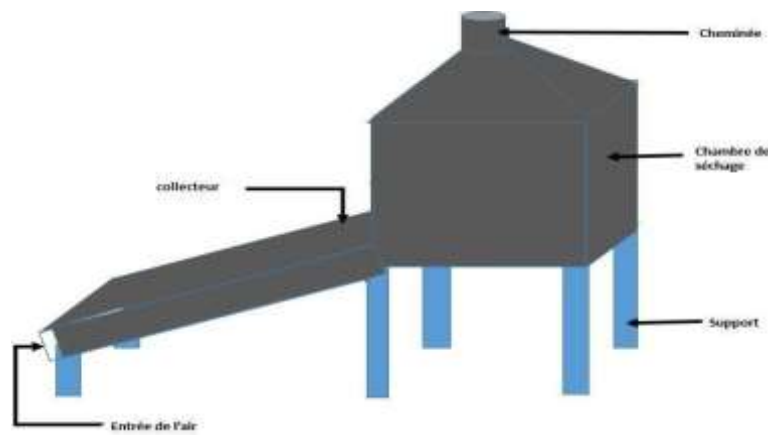


Figure I.9: illustration d'un séchoir solaire indirecte (Mennouche 2006) [17].

### I.5.5.1. Types des séchoirs indirects:

#### ✓ Les séchoirs-Tunnel

Ce sont des séchoirs industriels destinés au séchage des grandes récoltes et dans les processus de conservation de certains aliments. Ils se composent d'un champ de capteurs solaires et d'un circuit aéraulique, le tout constituant le générateur d'air chaud. Le produit à sécher est disposé dans des chariots montés sur des rails, qui traversent un tunnel de quelques mètres de façon continue. (Madhlopa, Jones et al., 2002) [14].

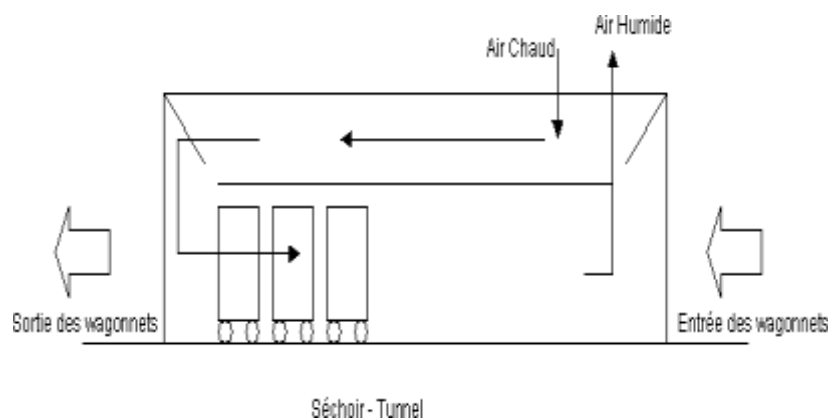


Figure I.10: représentation schématique d'un séchoir tunnel (Vasseur, 2009) [4].

#### ✓ Les séchoirs solaires destinés aux plantes aromatiques et médicinales

Le séchage des plantes aromatiques et médicinales (PAM) est une étape essentielle dans l'industrie agro-alimentaire et pharmaceutique, car tout en facilitant les prochaines étapes de

transformation, elle permet aux plantes de garder toutes leurs qualités et permet de les conserver plus longtemps. L'Algérie, de par sa position géographique, jouit de conditions climatiques et de ressources hydriques très favorables au développement de cultures intensives des PAM. Cependant cette filière reste encore très peu développée dans notre pays.

Depuis plusieurs années, l'équipe système solaire basses températures du CDER (centre de développement des énergies renouvelable), à travers le projet séchage solaire, s'intéresse au rôle que peut apporter l'énergie solaire au développement de l'industrie agro-alimentaire et pharmaceutique (Boulemtafes et Benaouda, 2006) [18].

A cet effet, un premier séchoir solaire indirect destiné au séchage des plantes aromatiques et médicinales a été réalisé et testé pour le séchage de quelques plantes aromatiques. (Midilli et Kucuk, 2003) [10].



**Figure I.11:** Séchoir solaire indirect destiné au séchage des PAM, réalisé au CDER (Boulemtafes and Benaouda 2006) [18].

### **I.5.6. Séchoirs solaire hybrides:**

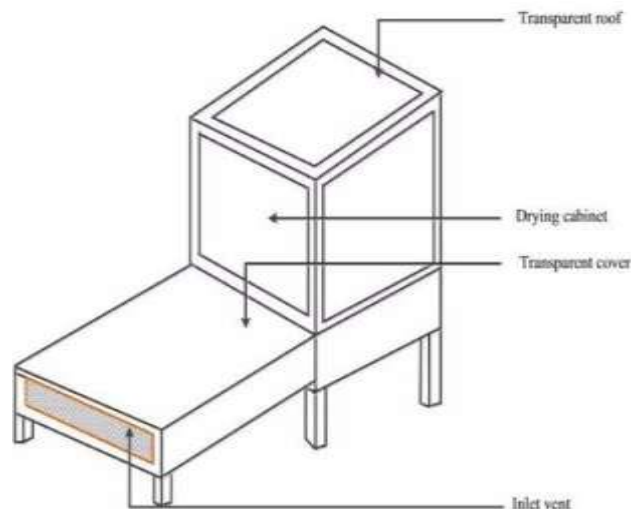
Ce sont des séchoirs qui utilisent l'énergie solaire mais aussi une autre source énergétique consommatrice de réserves fossiles pour suppléer au chauffage et/ou à la ventilation.

Dans le monde d'aujourd'hui de la technologie de pointe, des séchoirs solaires hybrides sont le meilleur dispositif alternatif disponible pour le séchage solaire rapide des produits avec la qualité des produits requis (Cruz, Troude *et al.*, 1988) [19].

### I.5.7. Les séchoirs solaires mixtes:

Ces séchoirs combinent les dispositifs des séchoirs directs et indirects. Dans ce type de séchoirs, 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 (**figure**) aurait les mêmes dispositifs structurant qu'un séchoir indirect (capteur solaire, chambre de séchage, et une cheminé) 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 (**Ekechukwu et Norton, 1999**) [15].



**Figure I.12** : Illustration d'un séchoir solaire mixte (**Mennouche, 2006**) [17].

### I.6. Avantages et inconvénients du séchage:

Comme toutes les méthodes de préservation thermique des produits, l'utilisation du séchage présente des avantages et des inconvénients.

#### ✓ Les avantages

Les principaux avantages du procédé de séchage sont :

- La simplicité de la méthode avec généralement un bon rendement ;
- Une durée de conservation des aliments déshydratés qui peut être de plusieurs mois ;
- La désactivation des enzymes responsables de la dégradation des aliments ;

- L'inhibition de la croissance des micro-organismes grâce à la réduction de l'activité d'eau ;
- Sa capacité à être utilisée à des fins commerciales permettant de limiter les pertes de récoltes ;
- La diminution des coûts financiers et environnementaux liés au transport des marchandises en raison de la réduction massique.

#### ✓ Les inconvénients

Comme tous les traitements thermiques, le séchage peut entraîner, en particulier,

- des pertes d'arômes, de vitamines et de pigments (**Boroze, 2011**) [20]., des réactions de brunissement, des durcissements superficiels.
- des modifications irréversibles de texture et donc de capacité à la réhydratation, des pertes de constituants volatils.
- la modification de la répartition de l'humidité dans le produit.
- Il est coûteux, notamment en énergie. Il est utile alors de connaître tout ce qui peut influencer le séchage et en particulier la vitesse de séchage afin de diminuer le coût de cette opération (**Nguyen, 2015**) [21].

En général, le séchage a globalement moins d'inconvénients que d'autres procédés de conservation (appertisation, congélation ou traitement aseptique). Le séchage des fruits, des légumes et des épices reste encore une méthode très répandue de conservation de ces aliments (**Ekechukwu et Norton, 1999**) [15].

## I.7. Généralités sur le raisin sec:

### I.7.1. Description du raisin sec:

Le raisin sec est le produit préparé à partir de raisin séché sain appartenant à des variétés conformes aux caractéristiques de *Vitis vinifera*, et transformés de façon appropriée en un type de raisin sec au moyen d'ingrédients facultatifs convenables (FAO, 1985 ; Office International du Vin, 1995) [22].



### I.7.2. Classification du raisin sec:

- Raisin sec sans pépins : raisin sec obtenu à partir des raisins qui sont naturellement exempts de pépins ou qui n'en contiennent presque pas.
- Raisin sec avec pépins : obtenu à partir des raisins contenant des pépins qui pourront être éliminés ou non aux stades du traitement.
- Raisin sec de Corinthe : obtenu à partir des raisins de petits grains (raisin de Corinthe) principalement sans pépins et de couleur bleu-noire.
- Raisin sec blanchi : raisin sec blanchi à l'anhydre sulfureux pendant le séchage ou après.
- Raisin sec non traité : raisins qui ont été séchés de manière appropriée mais qui n'ont pas subi de traitements requis pour présentation à la consommation (VILAUD et al, 1993 ; Normes CEE pour le raisin sec, 2001) [23].



### I.7.3. Taxonomie:

La vigne est une plante ligneuse pérenne appartenant à la famille des Vitacées, autrefois appelée Ampélidées ou Ampélidacées. Cette famille, constituée de 12 genres, contient environ 700 espèces. Les vignes cultivées sont toutes du genre *Vitis*, lui-même divisé en deux sous-genres : **Muscadinia et Euvitis** [24].



Dans son ensemble, la vigne peut se développer dans toutes les régions du monde grâce aux grandes capacités d'adaptation de ses nombreuses espèces. *Vitis vinifera* L. est la seule espèce présente en Europe, et c'est à l'échelle mondiale l'espèce viticole la plus commune et la plus importante au niveau économique (GALET, 1993 cité par HILBERT, 2002) [25].

Les principales variétés à raisin de séchage sont : Muscata ; Golden ; Corinthe noir et Sultanine. La variété Sultanine reste la plus utilisée pour la production du raisin sec (VILAUD. et al, 1993) [23].

### I.7.4. Intérêt nutritionnel:[26]

Ayant été déshydratées, les raisins secs ont bien évidemment une teneur en eau

abaissée par rapport à celle des raisins frais : elle varie entre 20% et 30% (au lieu de 80 à 90%). De ce fait, ils sont très énergétiques (280 K cal/100g raisin sec) : Soit un total calorique de 3 à 5 fois plus élevé que celui du raisin frais.

- Les raisins secs sont donc très riches en glucides aisément utilisables par l'organisme. Leur richesse en substances minérales et en oligo-éléments (K, Ca, Na, P, Mg, Fe) est remarquable, elle est de 2 à 3 g/100g de raisin sec.
- Les vitamines s'y retrouvent également à des taux très intéressants (Vit : A, C, B1, B2) par contre, certaines d'entre elles peuvent être largement influencées par les conditions de séchage (REGAL, 1995) [26].

La composition moyenne du raisin sec est donnée par le tableau 1.

**Tableau I.1 : Composition moyenne pour 100g de raisin sec**

Composants	Teneur
Eau	27 g
Protides	2 g
Glucides	64 g.
Lipides	0.1 g
Vit. C	1 mg
Vit. A	27 mg
Vit. B1	0.08 mg
Vit. B2	0.05 mg
K	800 mg
Ca	200 mg
Na	150 mg
P	100 mg
Mg	32 mg
Fe	4 mg

(Source : guide des aliments : fruits confits et séchés, 2000) [27].

### I.8. Le raisin dans le monde:

Au niveau mondial, on recense environ 10 millions d'hectares de vigne dont les trois quarts sont situés en Europe. Les principaux pays viticoles sont l'Espagne (1,7 million d'ha), l'Italie (1.37 million d'ha), l'U.R.S.S (1.28 million d'ha), la France (1.17 million d'ha) et la

Turquie (780 000 ha). L'Algérie occupait, en 1980, la onzième position parmi les pays viticoles avec une superficie de 230 000 ha (**Office International du Vin, 1980 ; LAURENT, 2000**) [28].

Le raisin de cuve représente la majeure partie des vendanges mondiales (83% en 1980 et 84.36% en 1995), il est pressuré pour produire du jus de raisins, du vin, l'eau de vie de vin, et divers mélanges de ces produits (**Office International du Vin, 1980 ; Office International du Vin 1995**) [29].

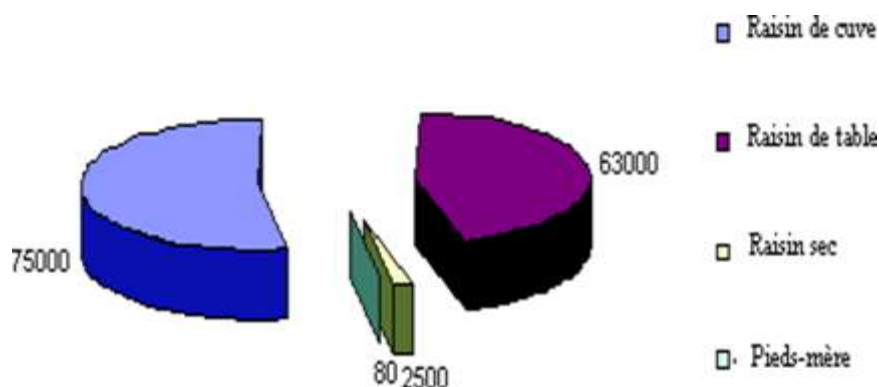
Le raisin de table consommé à l'état frais représente 12% (en 1980) et 14% (en 1995) des vendanges mondiales, ces raisins sont orientés vers la consommation à l'état frais.

**Le raisin de séchage** : représente 5% (en 1980) et 1.63% (en 1995) des vendanges mondiales, il est destiné au séchage pour produire du raisin sec.

Notant que la production mondiale de raisin s'oriente vers la production de raisin de cuve et le raisin de table au dépend du raisin sec, ceci est la conséquence de plusieurs facteurs économiques et techniques(**LAURENT, 2000**) [29].

### **I.8.1. Répartition des vignobles:**

Les vignobles en Algérie occupent actuellement une superficie totale de 140 580 ha (Office National des Cultures Viticoles, 2001). La régression des vignobles est la conséquence de plusieurs facteurs dont les plus importants sont le déficit pluviométrique, l'insuffisance de la production de bois et plants de vigne, l'âge des vignobles, les arrachages anarchiques et massifs, et l'augmentation des coûts de plantation de la vigne (**Office National des Cultures Viticoles, 2001; Institut Technique d'Arboricultures Fruitière, 2002**) [29]. La répartition des vignobles Algériens selon la destination du raisin produit est représentée par la figure .



**Figure I.13:** Répartition des vignobles Algériens (en ha) selon le type de raisin produit (Selon l’I.T.A.F, 2002) [29].

**I.8.1.1. Production:**

La production nationale de raisin a connu ces dernières années des fluctuations en raison des crises que connaît la viticulture algérienne. La quantité de raisin produite durant la décennie 1990-1999 est en moyenne 1459.3 tonnes par an.

Année:	Fruit :	Raisin (tonnes)
1990		1 237
1995		1 964
1999		1 177

**Tableau I.2:** Production annuelle moyenne du raisin en Algérie (Source : Office National des Statistiques, 2000) [29].

La production de raisin sec par les principales Wilayas est représentée par la figure .

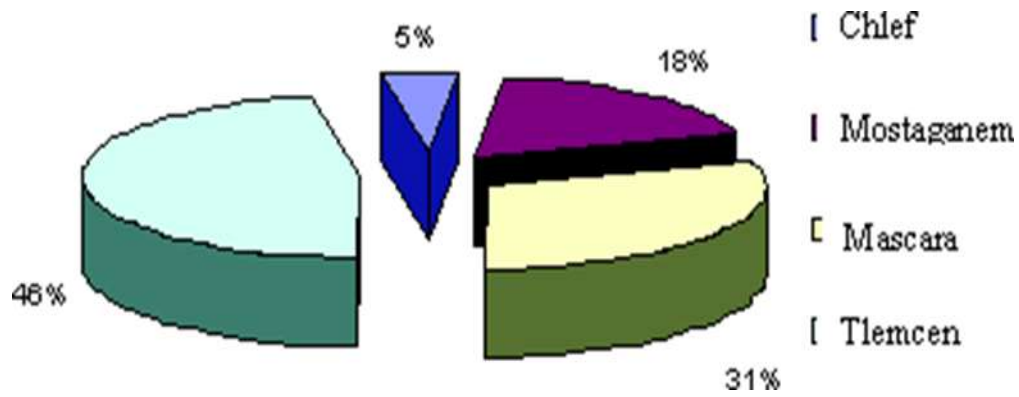


Figure I.14: Principales Wilayas productrices de raisin sec[29].

**I.8.1.2. Consommation:**

Les fruits secs trouvent une large consommation dans la société algérienne. Les principaux fruits secs consommés sont les raisins, les pruneaux, les figues et l’abricot. Parmi ces fruits, le raisin sec est le plus consommé ; il est intégré avec les céréales pour préparer du couscous au raisin sec, dans certains gâteaux, ainsi que son large utilisation pour la préparation d’un plat très énergétique consommé principalement durant le mois du Ramadan (AOUES, 2002).

Pour l’année 2002, la consommation totale de raisin sec était de l’ordre de 687,048 tonnes dont 0.34% uniquement était de production locale, et 99.66% était assurée par l’importation ( La demande Office National des Statistiques, 2003) [29].

**I.8.1.3. Importations:[29]**

En fruits secs est importante principalement durant le mois du carême. L’Iran et la Turquie, considérés parmi les principaux exportateurs de fruits secs à l’échelle mondiale, ont fourni pour l’Algérie durant l’année 1997 une quantité de 1 014,562 tonnes de fruits secs répartis selon le tableau 3.

Tableau I.3:Quantités de fruits secs importés pour l'année 1997

Fruits secs	Quantité (Tonnes)
Raisin sec	584,778
Pruneaux séchés	346,130
Figues séchées	74,629
Abricot sec	9,025

(Source : Direction générale des douanes, 1999) [29].

**I.8.1.4. Perspectives de la viticulture:**

Il est indéniable que les superficies actuelles des vignobles restent très en deçà des potentialités réelles de l'Algérie ; un pays où les conditions climatiques et culturelles sont favorables pour la croissance et la fructification de la vigne (**LAURENT, 2000 ; Institut Technique d'Arboriculture Fruitière, 2002 ; Office Nationale des Cultures Viticoles, 2003**) [29].

Un programme ministériel (Plan National pour le Développement Agricole) s'est lancé ces dernières années en vue de développer l'arboriculture fruitière et la viticulture particulièrement. Un subventionnement étatique en matière de pépinières, de distribution de plants, et un subventionnement direct aux viticulteurs a eu lieu en vue d'accroître la superficie des vignobles et améliorer leur rendement. Cela était effectué dans différentes régions du territoire national (**Ministère de l'agriculture, 2002 ; Office Nationale des Cultures Viticoles, 2003**) [29].

**I.9. Conclusion:**

Notre étude a porté sur le séchage du raisin de la variété Sultanine par un séchoir solaire à convection forcée.

Dans ce chapitre, on a présenté des généralités sur le séchage, les types de séchoirs directs et indirects, leurs classifications ainsi les avantages et les inconvénients du séchage. On a présenté aussi l'intérêt nutritionnel

## Références bibliographiques

- [1] [https://www.cder.dz/vlib/bulletin/pdf/bulletin\\_021\\_07.pdf](https://www.cder.dz/vlib/bulletin/pdf/bulletin_021_07.pdf).  
Boulemtafes, A, 2011: "Le séchage solaire des produits agricoles.
- [2] <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/procedes-chimie-bio-agro-th2/operations-unitaires-et-process-de-fabrication-de-produits-alimentaires-42430210/sechage-des-produits-alimentaires-f3000/principes-f3000niv10001.html> (consulté le 09-06-2022).
- [3] Léonard Angélique, 2002: le Séchage .Faculté des Sciences Appliquées, Département de Chimie Appliquée, Laboratoire de Génie Chimique dans le cadre du Printemps des Sciences.  
<http://www.ulg.ac.be/sciences> Université de Liège – Haute Ecole Charlemagne – Hemes  
Les métiers de l'énergie – Ingénieurs de l'énergie (consulté le 29/04/2018).
- [4] Vasseur, 2009 : "Séchage: principes et calcul d'appareils-Séchage convectif par air chaud (partie 1).
- [5] <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01297965/document> (consulté le 09-06-2022).
- [6] Lahmari *et al.*, 2012: "Influence des méthodes de séchage sur la qualité des tomates séchées (variété Zahra).
- [7] Bonazzi, C., E. Dumoulin, et al., 2008: "Le séchage des produits alimentaires." *Industrie Alimentaire Agricole* 125(03-04): 12-22.
- [8] Mathavi *et al.*, 2013 : "New trends in food processing." *Int J Adv Eng Technol* 5(2): 176-187
- [9] Enrico Maltini, 2003: "La déshydratation osmotique et les produits de semi-confisage."
- [10] Midilli et Kucuk, 2003: "Energy and exergy analyses of solar drying process of pistachio." *Energy* 28(6): 539-556.
- [11] Amelin et Souriau, 2014 : Fabrication de cuiseurs et de séchoirs solaires, CTA.
- [12] Mann, Harris *et al.*, 2004: "Renewable and sustainable energy reviews.
- [13] El-Sebaï, A., S. Aboul-Enein, *et al.*, 2002 : "Empirical correlations for drying kinetics of some fruits and vegetables." *Energy* 27(9): 845-859.
- [14] Madhlopa, Jones *et al.*, 2002: "A solar air heater with composite-absorber systems for food dehydration." *Renewable energy* 27(1): 27-37.
- [15] Ekechukwu et Norton, 1999: "Review of solar-energy drying systems II: an overview of solar drying technology." *Energy conversion and management* 40(6): 615-655.
- [16] Pangavhane et Sawhney, 2002 : "Review of research and development work on solar dryers for grape drying." *Energy conversion and management* 43(1): 45-61.
- [17] Mennouche, 2006 : "Valorisation des produits agro-alimentaires et des plantes médicinales par les procédés de séchage solaire." Mémoire de Magister, Université de Ouargla.
- [18] 2006: Le Séchage Solaire des Plantes Médicinales et Aromatiques-Application au Séchage de la Menthe, 1er Séminaire Maghrébin sur les Sciences et Technologies de Séchage, 'SMSTS.
- [19] Cruz, Troude *et al.*, 1988: Conservation des grains en régions chaudes, Ministère de la coopération et du Développement.
- [20] Boroze, 2011: "Outil d'aide à la conception de séchoirs pour les produits agricoles tropicaux."
- [21] Nguyen, 2015 : Étude expérimentale et modélisation du procédé de séchage des végétaux, Lorient.
- [22] FAO, 1985 ; Office International du Vin, 1995.

[http://dspace.ensa.dz:8080/jspui/bitstream/123456789/90/1/goudjal\\_y.pdf](http://dspace.ensa.dz:8080/jspui/bitstream/123456789/90/1/goudjal_y.pdf).

[23] VILAUD et al, 1993 ; Normes CEE pour le raisin sec, 2001.

[http://dspace.ensa.dz:8080/jspui/bitstream/123456789/90/1/goudjal\\_y.pdf](http://dspace.ensa.dz:8080/jspui/bitstream/123456789/90/1/goudjal_y.pdf).

[24] : Muscadinia et Euvitis. [http://dspace.ensa.dz:8080/jspui/bitstream/123456789/90/1/goudjal\\_y.pdf](http://dspace.ensa.dz:8080/jspui/bitstream/123456789/90/1/goudjal_y.pdf).

[25] GALET, 1993 cité par HILBERT, 2002.

[http://dspace.ensa.dz:8080/jspui/bitstream/123456789/90/1/goudjal\\_y.pdf](http://dspace.ensa.dz:8080/jspui/bitstream/123456789/90/1/goudjal_y.pdf).

[26] REGAL, 1995. [http://dspace.ensa.dz:8080/jspui/bitstream/123456789/90/1/goudjal\\_y.pdf](http://dspace.ensa.dz:8080/jspui/bitstream/123456789/90/1/goudjal_y.pdf).

[27] guide des aliments : fruits confits et séchés, 2000. .

[http://dspace.ensa.dz:8080/jspui/bitstream/123456789/90/1/goudjal\\_y.pdf](http://dspace.ensa.dz:8080/jspui/bitstream/123456789/90/1/goudjal_y.pdf).

[28] [http://dspace.ensa.dz:8080/jspui/bitstream/123456789/90/1/goudjal\\_y.pdf](http://dspace.ensa.dz:8080/jspui/bitstream/123456789/90/1/goudjal_y.pdf).

[29] Goudjal yacine. séchage solaire du raisin, variété soltanine . université d'alger.2005.

[http://dspace.ensa.dz:8080/jspui/bitstream/123456789/90/1/goudjal\\_y.pdf](http://dspace.ensa.dz:8080/jspui/bitstream/123456789/90/1/goudjal_y.pdf).

## **Chapitre II**

# ***Fabrication de panneau solaire de séchage***

### II.1. Introduction :

L'idée de ce projet est de collecter une quantité d'air, l'exposée au soleil chaud et la livrer directement à la chambre où nous avons mis le produit alimentaire « le raisin ».

Et afin d'assurer un accès à l'air chaud, on a établi une connexion directe avec la chambre de séchage. Nous avons sélectionné des matériaux qui nous offrent suffisamment d'isolation de l'air de l'extérieur et de la température ambiante [12].

### II.2. Le banc d'essai fabriqué :



**Figure II.1 :** vue en avant du banc d'essai.

- |                               |   |
|-------------------------------|---|
| (1) L'absorbeur ;             | (4) la chambre de séchage ;               |
| (2) les capteurs thermiques ; | (5) l'extracteur ;                        |
| (3) la structure métallique ; | (6) le mécanisme de la balance de poids ; |



Figure II.2 : Vue en avant du banc d'essai.

- (1) Tuyau d'absorption de l'air ;
- (2) La plaque des capteurs de température et de l'humidité ;
- (3) La plaque de distribution d'air.

### II.3. L'isolation et les matériaux utilisés :

#### II.3.1. La résistance thermique :

Pour choisir un produit isolant ou d'isolation, il suffit de lire la résistance thermique R qui figure sur l'étiquette du produit. Plus le chiffre derrière le R est élevé et plus le produit est isolant. Plus l'épaisseur d'un matériau isolant est importante et plus son coefficient de conductivité ( $\lambda$ ) est faible plus sa résistance thermique sera élevée. [1]

#### II.3.2. La conductivité thermique :

La conductivité thermique  $\lambda$  ( $\lambda$ ) est la quantité de chaleur W/m.K pouvant traverser un matériau en un temps donné. Plus cette valeur ( $\lambda$ ) sera faible et plus le matériau, à épaisseur égale, sera isolant. Les matériaux isolants ont des  $\lambda < 0,060$  W/mK. N.B. Certains fabricants calculent le  $\lambda$  de leur isolant avec une température de l'air de  $10^\circ$  ce qui est faux.

Plus la conductivité thermique sera faible, plus le coefficient R sera important et plus le produit sera isolant et performant. [1]

#### II.3.3. L'écoulement à l'air :

Le long procès qui a opposé le puissant syndicat de fabricants de laines minérales (Le FILMM) à un petit fabricant de produits minces réfléchissants qui affirmait que son produit aluminisé équivalait à 10 cm de laine de verre a abouti à un résultat inattendu. [1]

#### II.3.4. Le bois :

Le bois est un tissu végétal rigide, composé de cellules aux parois ligno-cellulosiques particulièrement performantes d'un point de vue mécanique. C'est ce qui a permis aux arbres d'atteindre des records de taille et de longévité dans le monde vivant. [2]

Selon les professionnels, le bois est 12 à 15 fois plus isolant que le béton, mais le bois est également 3 à 7 fois plus conducteur que les vrais isolants... C'est en effet la conductivité

thermique, qui est l'une des caractéristiques thermiques des matériaux, qui définit la performance d'un isolant.

La variation du coefficient de conductivité thermique est proche de 20 000 [W/mk] entre les moins isolants tels que le cuivre et les plus isolants comme le polyuréthane. [3]

Le cadre du panneau est en bois dure, protégée de tous les côtés avec une isolation de silicone, et connecter à la chambre par une rainure, ses dimensions sont de 550mm x 550mm x960mm.

#### II.3.4.1. Le polystyrène :

Le terme « polystyrène » codé PS, désigne un polymère dont le monomère -- comprenez l'élément moléculaire répété -- est le styrène. Ce dernier est formé d'un benzène accroché au composé CH-CH<sub>2</sub>. Le polystyrène est obtenu dans un autoclave, par polymérisation du styrène. Le styrène est, quant à lui, l'un des produits du raffinage du pétrole. Solide et dur, le polystyrène peut être mélangé à un gaz pour créer un matériau très léger. [4]



**Figure II.3 :** Polystyrène expansé pour iso. Thermique par l'ext. PRB 1.2x0.6m, Ep.40mm. [5]

Dans notre projet on a utilisé le Polystyrène pour assurer une isolation efficace, on à choisir une plaque de polystyrène d'une épaisseur égale 40mm.

Le polystyrène est un matériau issu de la famille des isolants synthétiques. Il en existe deux types : le polystyrène expansé (PSE) et le polystyrène extrudé (XPS). On les trouve sous différentes formes mais le panneau de polystyrène est sans doute le plus utilisé. Les panneaux de polystyrène sont principalement utilisés pour isoler les habitations mais ils peuvent également servir dans la réalisation de décors pour des projets artistiques. [5]

### **II.3.5. La différence entre un polystyrène expansé et un polystyrène extrudé [6] :**

La principale différence entre ces deux matériaux réside dans leur densité. Le polystyrène extrudé est beaucoup plus dense que l'expansé (en moyenne 2,18 lb pour l'XPS vs 0,93 lb pour le PSE).

#### **II.3.5.1. Les avantages du polystyrène expansé :**

Le PSE est un isolant léger qui possède une bonne résistance mécanique. Sa légèreté le rend facile à manier et à poser. On l'utilise principalement sous forme de panneau blanc ou gris pour isoler les sols, les murs, les toitures ou encore les terrasses.

Notez que le PSE de couleur grise révèle de meilleures performances thermiques (environ 10 à 20 %), cela permet par exemple de réduire l'épaisseur du panneau de polystyrène lorsqu'il est utilisé comme isolant. Cependant, le polystyrène gris est légèrement plus dispendieux.

Comme il est assez fragile lorsqu'il est au contact du feu, il est nécessaire d'associer le polystyrène expansé à un matériau incombustible. Le plâtre est souvent utilisé avec du polystyrène expansé et combiné sous forme de plaque. Ces plaques sont principalement appréciées pour l'isolation intérieure.

### II.3.5.2. Les avantages du polystyrène extrudé:

L'XPS présente une bonne conductivité thermique (généralement supérieure au PSE). Il est par ailleurs très résistant aux différentes températures ; la chaleur, le froid et l'eau ne réussissent généralement pas à venir à bout d'un polystyrène extrudé de qualité. On le privilégie donc pour les zones dont les conditions climatiques sont assez extrêmes.

Le polystyrène extrudé possède d'autres atouts : il est par exemple doté d'une meilleure résistance mécanique que le PSE. Il se déforme peu, même au fil du temps et ne perd pas de son épaisseur. Ces qualités sont particulièrement appréciées au Québec.

On utilise principalement le XPS sous forme de panneaux bleus pour l'isolation des sols et de la toiture (plate). [6]

### II.3.6. La tôle galvanisée (Galvanized Sheet Metal) :

C'est une tôle d'Acier recouvert d'une couche de zinc (par un procédé de trempage à chaud ou de dépôt électrolytique) dans le but de le rendre plus résistant à la corrosion. L'acier galvanisé est notamment utilisé dans l'industrie automobile, la construction d'édifices et de structures telles que les pylônes. Aussi, cette plaque collecter la chaleur, L'épaisseur de la tôle utilisée est égale 1.5mm [7].



**Figure II.4 :** Tôle galvanisée e=1.5mm [8]

### I.3.7. Le MDF [9] :

Le panneau de bois MDF, « Panneau de fibres à densité moyenne » également appelé medium, est un matériau de construction largement utilisé dans l'industrie du meuble et de la décoration intérieure. La production du MDF (**Medium Density Fiberboard**) a débuté aux États-Unis dans les années 1970, suite à une erreur d'usinage datant de 1966. Le panneau de fibres de bois à densité moyenne, ou panneau MDF, présente de multiples avantages pour les bricoleurs amateurs et chevronnés. Sa polyvalence et ses facilités de finitions s'accompagnent tout de même de quelques inconvénients à prendre en compte lors de la réalisation de travaux. Ce dernier est un matériau composite de fibre de bois réalisé à base de bois de feuillus ou de résineux. Sa fabrication se déroule en plusieurs étapes pouvant se résumer ainsi :

Après avoir été réduites en copeaux de 5 à 40mm, les particules de bois sont lavées et dépoussiérées. Elles subissent ensuite une opération de défibrage par la vapeur et sont mélangées à une matière collante, composée d'un liant tel que l'urée-formol ou la mélamine formol, un catalyseur et parfois d'autres adjuvants. Après avoir été séchée, cette matière fibreuse est soumise à de fortes pressions afin de la former en panneaux, qui sont ensuite découpés en différents formats.

#### II.3.7.1. Les avantages des panneaux de fibres à densité moyenne [9] :

Le MDF offre de multiples possibilités en matière de bricolage que le bois massif ne permet pas. Sa matière, quoique très dense, se travaille très facilement. En effet, ce matériau composite ne présente pas de risque de brisure à la découpe. Il s'adapte sans difficulté à chaque utilisation pour une polyvalence appréciable. Côté finitions, le panneau bois propose de nombreuses possibilités grâce à ses facultés à imiter de multiples matériaux. De plus, sa texture fine offre un résultat extrêmement soigné. Le MDF étant une matière isotrope, il présente des caractéristiques parfaitement homogènes, à l'inverse du bois massif qui contient des nœuds le rendant moins uniforme. Les panneaux de bois MDF sont très résistants à l'humidité et aux changements de température. Ils ne risquent donc pas de subir de déformation, de se dilater ni de se contracter. Pour améliorer encore sa résilience, le MDF peut être ignifugé, laqué, mélaminé, cintré, et dans certains cas, hydrofugé. Outre le fait que le medium est meilleur marché que le bois massif, il se révèle être plus respectueux de l'environnement. En effet, il est fabriqué à partir de bois qui n'auraient pas été utilisables dans la filière classique.



**Figure II.5 : plaque MDF  $e=2.5$  mm. [10]**

### II.3.8. Le verre:

Le rôle du verre dans ce projet est qu'il condense et concentre la chaleur de soleil sur la tôle galvanisée.

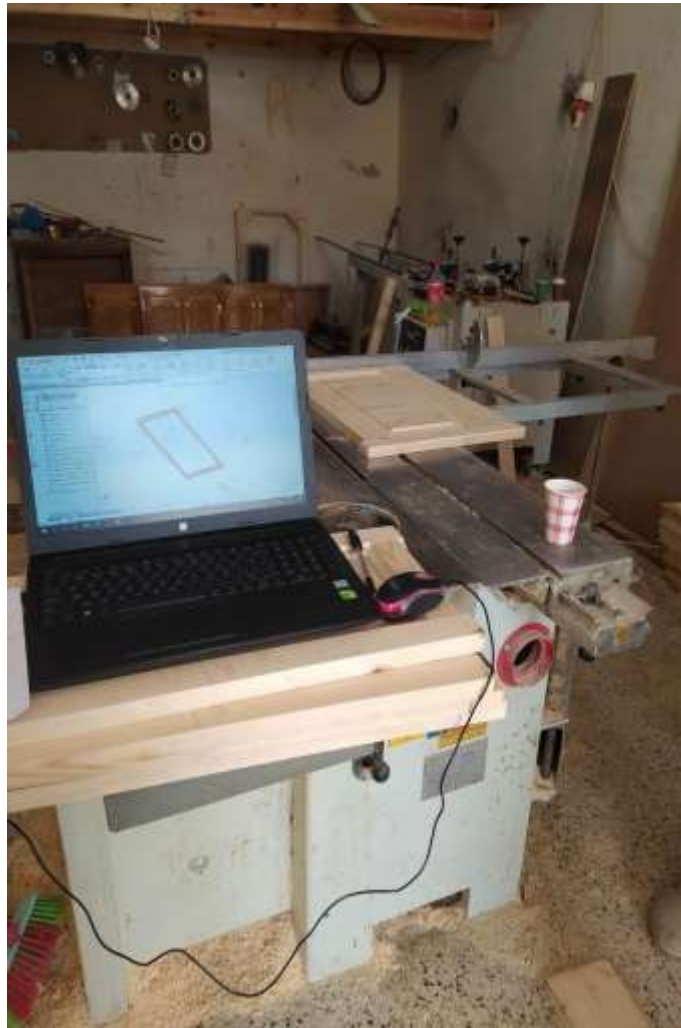
**Tableau II.1 : caractéristiques du matériau verre. [11]**

Propriété	Valeur
Module d'élasticité	68935 N/mm <sup>2</sup>
Coefficient de dilatation thermique	9e-006/K
Conductivité thermique	0.74976W/(m·K)
Chaleur spécifique	834.61 J/(kg·K)

**II.4. La chambre de séchage :**

C'est un coffre d'une hauteur de 550 mm, d'une largeur de 550mm et une longueur de 960mm. Contient d'une isolation thermique a l'intérieures par une plaque de polystyrène de 20mm d'épaisseur, on a fermé tous les joins par l'utilisation du la silicone.

L'air chauffé pénètre à travers une ouverture pour sortir par un extracteur d'air alimentée par une source d'énergie électrique.

**II.5. Fabrication de panneau solaire et chambre de séchage :****II.5.1. La partie de la boiserie :**

**Figure II.6 :** Le démarrage à partir de dessin technique



Figure II.7 : Dressage des baguettes de bois



Figure II.8 : Découpage des baguettes de bois selon les mesures



**Figure II.9 :** L'état de surface du bois après le dressage et le découpage



**Figure II.10 :** Découpage des angles 45°



**Figure II.11 :** Support de forme L pour le maintien de la plaque contre plaquée



**Figure II.12 :** Le montage de cadre de l'absorbeur



**Figure II.13 :** La finition de montage de cadre du panneau par l'addition du mastique sur les coins pour assurer un assemblage dure et des joins sans vide



**Figure II.14 :** Le montage du cadre supérieure et inférieure de l'absorbeur



**Figure II.15 :** Le montage du cadre « supérieure et inférieure » de l'absorbeur



**Figure II.16 :** Le cadre inférieure du panneau avec une contre plaquée de l'épaisseur de 3.6mm et l'huile



**Figure II.17 :** L'addition du premier isolant « une plaque de polystyrène 40mm »



**Figure II.18 :** Le cadre inferieur de l'absorbeur après l'addition d'une plaque de polystyrène= 40mm + plaque MDF e=2.5mm + Tôle galvanisée e=1.5 mm



**Figure II.19 :** La chambre de séchage avant l'addition d'isolation.



**Figure II.20 :** Une autre vue de la chambre de séchage.



**Figure II.21 :** L'intérieur de la chambre de séchage après l'addition des isolant « plaque de polystyrène e= 20mm + papier aluminium »



**Figure II.22 :** Perçage de la plaque de distribution de l'air

II.5.2. la partie de la structure métallique :



Figure II.23 : Le découpage des cornières et de tube carré



Figure II.24 : Utilisation de l'équerre pour avoir une bonne finition



Figure II.25 : Le soudage de la structure



Figure II.26 : le soudage de la structure métallique

## II.6. Conclusion

Ce chapitre est consacré à la fabrication du capteur solaire et de la chambre à sécher, dans celle-ci on a présenté les différents éléments constitutifs : la vitre, l'absorbeur, la plaque inférieure, le polystyrène, la plaque isolante MDF, contre plaquée, et le cadre supérieur et inférieur, plus les étapes de fabrication : boiserie, soudage du support métallique et l'implantation des sondes dans le conceptin et dans la chambre de séchage.

## Références

- [1] <https://www.picbleu.fr/page/tableau-comparatif-des-isolants-obtenir-resistance>(Consulté le 8/05/2021);
- [2] <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/construction-et-travaux-publics-th3/construction-bois-42824210/materiau-bois-c925/>(Consulté le 8/05/2021);
- [3] <https://www.coquart.fr/maison-ossature-bois/faq/le-bois-est-il-isolant#:~:text=Le%20bois%20est%2C%20selon%20les,la%20performance%20d%27un%20isolant>(Consulté le 8/05/2021);
- [4] <https://www.futura-sciences.com/sciences/definitions/chimie-polystyrene-10176/>(Consulté le 8/05/2021);
- [5] <https://www.leroymerlin.fr/produits/materiaux/isolation/plaque-polystyrene/polystyrene-isolation-exterieure/polystyrene-expanse-pour-iso-thermique-par-ext-prb-1-2x0-6m-ep-40mm-80168284.html>(Consulté le 8/05/2021);
- [6] <https://www.usimm.ca/panneau-en-polystyrene-choisir-un-polystyrene-expanse-ou-extrude/> (Consulté le 8/05/2021);
- [8] <https://www.amazon.fr/Tôles-plaques-lisa-acier-zingué/dp/B00LWVKWUE> (Consulté le 8/05/2021);
- [9] <https://www.lrindustrie-panneaux.fr/faq/avantages-inconvenients-bois-mdf/>
- [10] <https://www.leclub-bricolage.fr/briconautes-mer/bois/panneau-verre/panneau.html> (Consulté le 8/05/2021);
- [11] Bibliothèque des matériaux de logiciel SolidWorks 2016.
- [12] Ben Othmane Mohamed et Boudouaya Mohamed Houssam eddine. Conception et fabrication d'un panneau solaire et étude de séchage de pomme de terre pour différents épaisseurs. Mémoire de master. Université Ammar Téliidji - Laghouat, 2021.



## **Chapitre III**

# ***Résultats et discussion***

**III.1. Introduction:**

Pour le protocole d'expérimentation, on a procédé de la manière suivante:

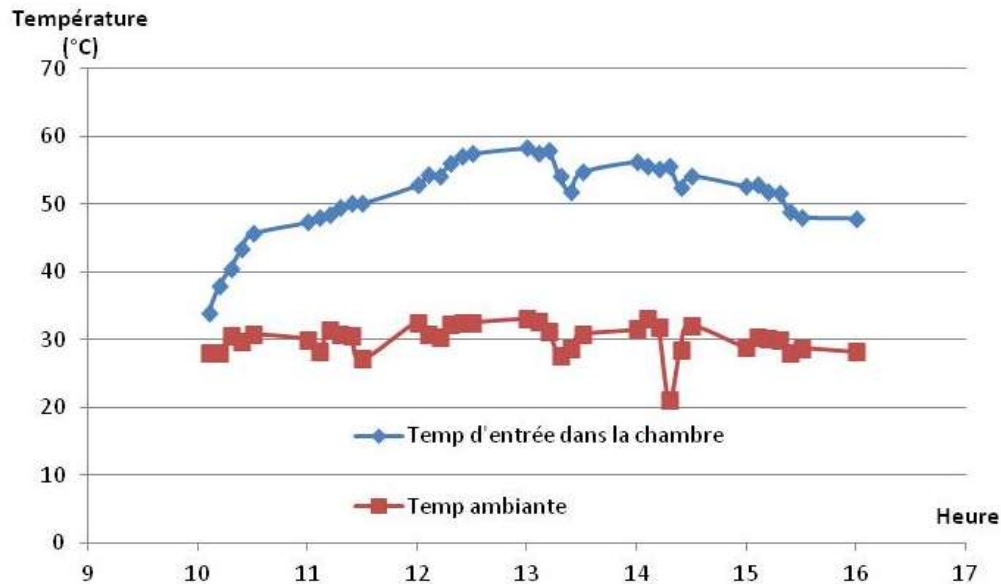
- Mode 1: on a essayé de faire le séchage par l'utilisation du panneau (convection forcée) pour l'accélération du séchage et l'exploitation du rayonnement solaire. Nous avons voulu étendre l'opération de séchage au plusieurs variantes du raisin tout en prenant en considération le calibre gros et fin du raisin. Mais malheureusement, nous avons tombé dans le mauvais moment ou la présence du raisin sur le marché est presque introuvable c'est la raison pour laquelle nous avons restreint notre expérimentation au gros calibre seulement.
- Mode 2: pour faire une comparaison entre le mode 1 et le mode 2, on a établi le séchage par convection naturelle (à l'air) pour confirme la masse finale après séchage et la qualité du produit.

**III.2. Résultats et discussion:**

Concernant les résultats, on a ciblé plusieurs paramètres tels que:

- La température ambiante ou la température d'entrée au panneau solaire à air;
- La température d'entrée à la chambre de séchage ou la température de sortie du panneau solaire;
- La température dans la chambre de séchage (deux capteurs de températures);
- La température de sortie de la chambre;
- L'humidité ambiante ou l'humidité d'entrée au panneau solaire à air;
- L'humidité d'entrée à la chambre de séchage ou l'humidité de sortie du panneau solaire;
- L'humidité dans la chambre de séchage (deux capteurs d'humidité);
- L'humidité à la sortie de la chambre;
- La masse du produit chaque 10 minutes;
- L'aspect du produit avant et après séchage.

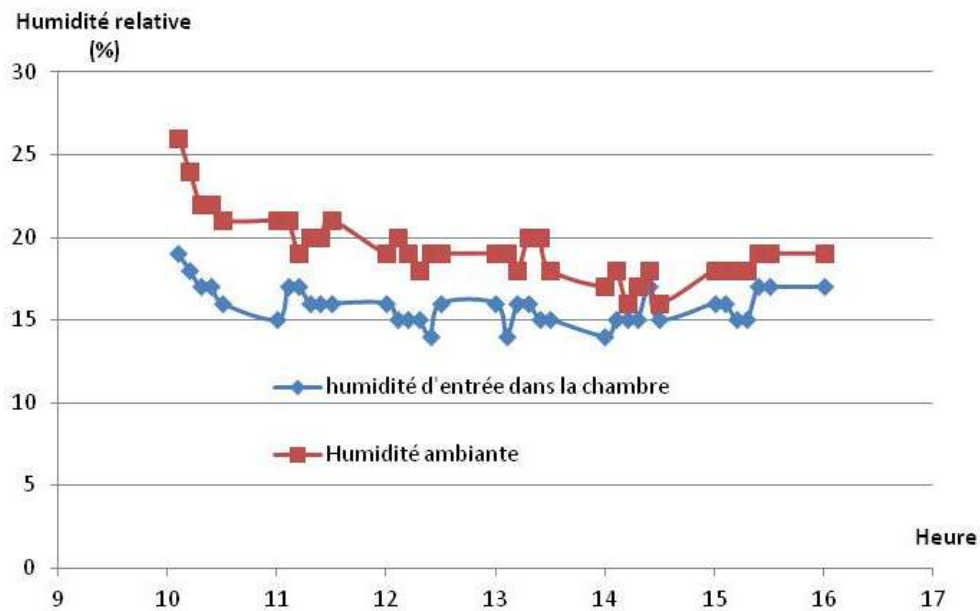
### III.2.1. Comparaison entre la température d'entrée de l'air dans la chambre et la température ambiante:



**Figure III.1:** Comparaison entre la température d'entrée et la température ambiante.

La Figure (III.1) représente l'évolution de la température d'entrée dans la chambre et la température ambiante en fonction du temps. On remarque que l'intervalle de température ambiante varie entre 28,0°C jusqu'à la valeur maximale 33,1°C enregistrée à 14H10. Pour la température d'entrée dans la chambre, l'augmentation de température varie avec l'augmentation du rayonnement solaire jusqu'à 13H00 avec une température 58,3 °C. Après cette heure, elle commence à décroître jusqu'à enregistrer une valeur 47,9°C enregistrée à 16H00.

### III.2.2. Evolution de l'humidité d'entrée dans la chambre et l'humidité ambiante:



**Figure III.2:** Comparaison entre l'humidité à l'entrée de la chambre et l'humidité ambiante.

LaFigure(III.2) représente l'évolution de l'humidité à l'entrée de la chambre et l'humidité ambiante en fonction du temps. On remarque que le taux d'humidité augmente dans la chambre vis-à-vis le taux d'humidité ambiante pur l'humidité ambiante, elle varie entre 16% et 26% tandis que pur l'humidité à l'entrée de la chambre, elle varie entre 14% et 19%.

### III.2.3. Comparaison entre la température d'entrée de l'air dans la chambre de l'air et la sortie dans la chambre :

LaFigure(III.3) représente l'évolution de la température d'entrée et la température de la sortie dans la chambre en fonction du temps. On remarque que l'intervalle de température d'entrée dans la chambre varie entre 34°C jusqu'à la valeur maximale 58.3°C enregistrée à 13H00. Pour la température de sortie de la chambre, on observe une augmentation de température qui varie avec l'augmentation du rayonnement solaire jusqu'à 13H20 avec une température 65°C. Après cette heure, elle commence à décroître jusqu'à enregistrer une valeur de 55.5°C enregistrée à 16H00. la température de sortie est toujours supérieure à la température d'entrée à la chambre.

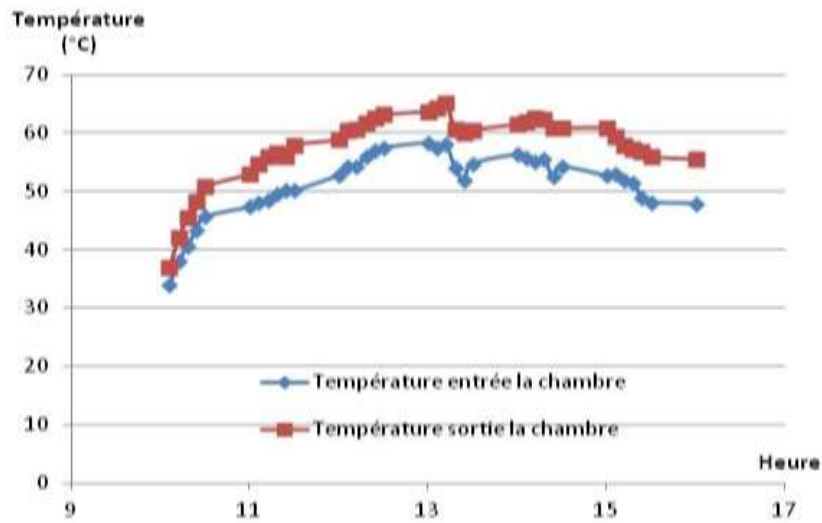


Figure III.3: Comparaison entre la température d'entrée et la sortie dans la chambre .

**III.2.4. Evolution de l'humidité d'entrée de l'air dans la chambre et l'humidité de l'air a la sortie de la chambre :**

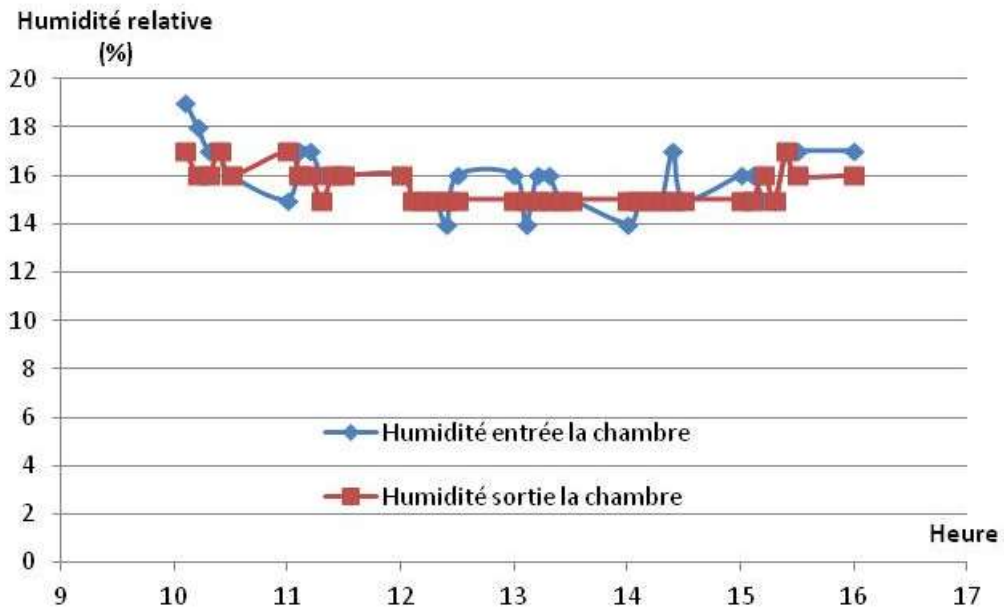
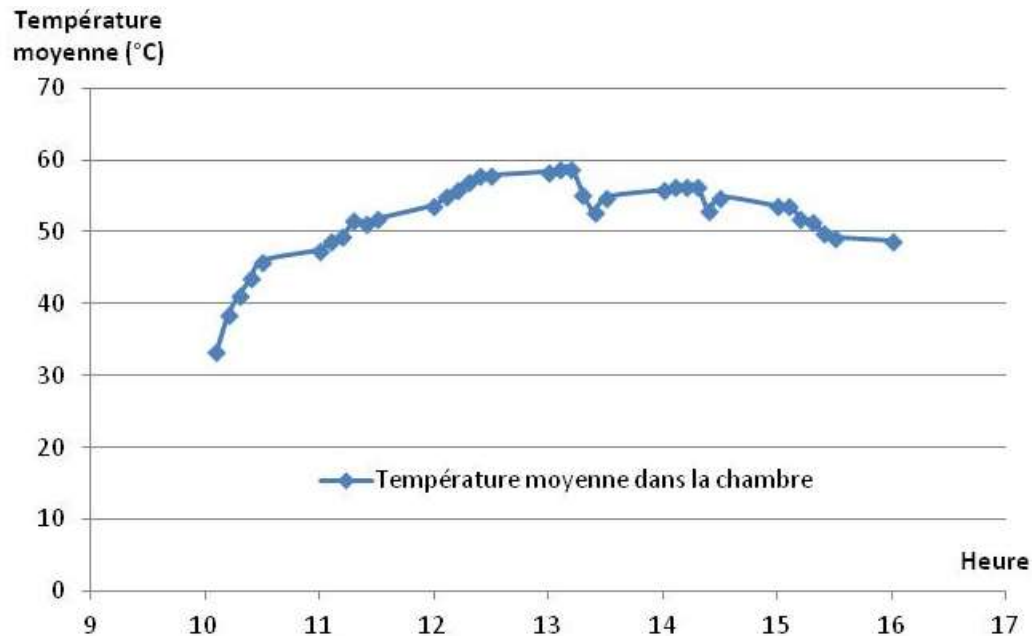


Figure III.4: Comparaison entre l'humidité d'entrée la chambre et l'humidité

a la sortie de la chambre.

La Figure (III.4) représente l'évolution de l'humidité d'entrée et l'humidité de la sortie dans la chambre en fonction du temps. On remarque que l'intervalle de humidité d'entrée dans la chambre varie entre 14% jusqu'à la valeur maximale 19% enregistrée à 10H10. Pour l'humidité de sortie de la chambre, on observe une stabilisation variant entre un intervalle 15 % et 17%.

### III.2.5. La température moyenne dans la chambre:



**Figure III.5:** Température moyenne dans la chambre.

La Figure (III.5) représente l'évolution de température moyenne dans la chambre en fonction du temps. On a installé deux capteurs pour la mesure de la température et l'humidité dans la chambre de séchage. Pour plus de précision, on a pris la valeur moyenne de la température et l'humidité comme étant la somme des deux valeurs de la température ou de l'humidité divisée par deux. On remarque que l'intervalle de température moyenne dans la chambre varie entre 33,3°C jusqu'à la valeur maximale 58,85°C enregistrée à 13H20. La température moyenne croit jusqu'à 13H20 et commence à décroître après cette heure. L'effet de rayonnement solaire global est lisible sur l'évolution de la température moyenne.

### III.2.6. L'humidité moyenne dans la chambre:

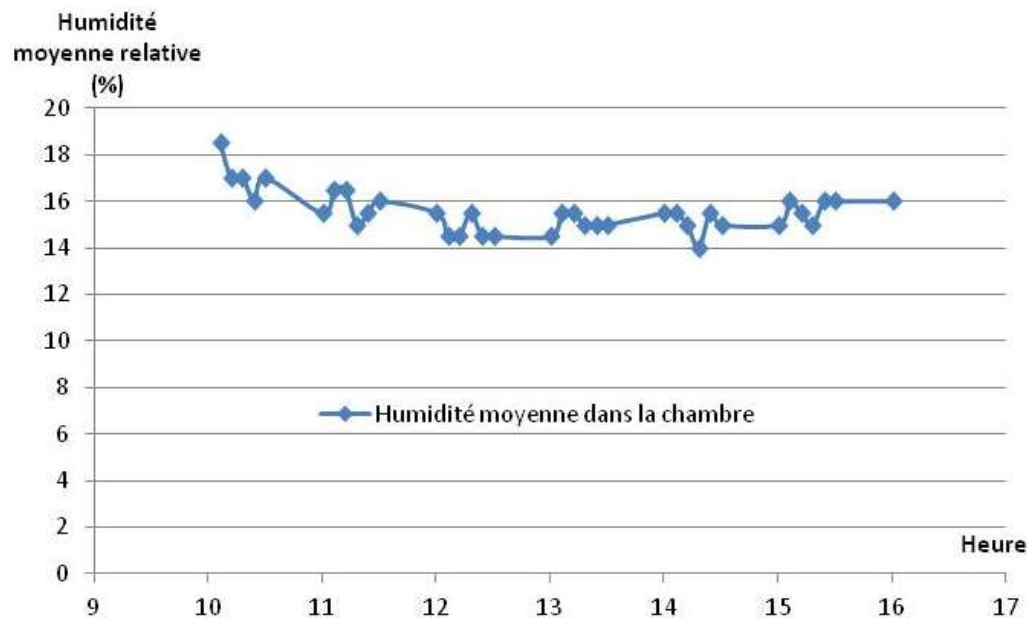


Figure III.6: Humidité moyenne dans la chambre.

LaFigure(III.6) représente l'évolution de l'humidité moyenne dans la chambre en fonction du temps. On remarque que l'intervalle de l'humidité moyenne dans la chambre varie entre 14% et 18.5%. On observe une légère diminution du taux de l'humidité moyenne jusqu'à 11H20 avec une valeur du taux d'humidité égale 15% puis elle se stabilise jusqu'à la dernière heure pour un intervalle allant de 14% jusqu'à 16%.

### III.2.7. La température moyenne de produit :

LaFigure(III.7) représente l'évolution de température moyenne de produit en fonction du temps. On remarque que l'intervalle de température moyenne de produit varie entre 34.8°C jusqu'à la valeur maximale 63.5 °C enregistrée à 13H20. Le produit s'affecte directement avec la température moyenne dans la chambre (le rayonnement solaire global). Les mêmes remarques citées ci-dessus sont valables pour le produit.

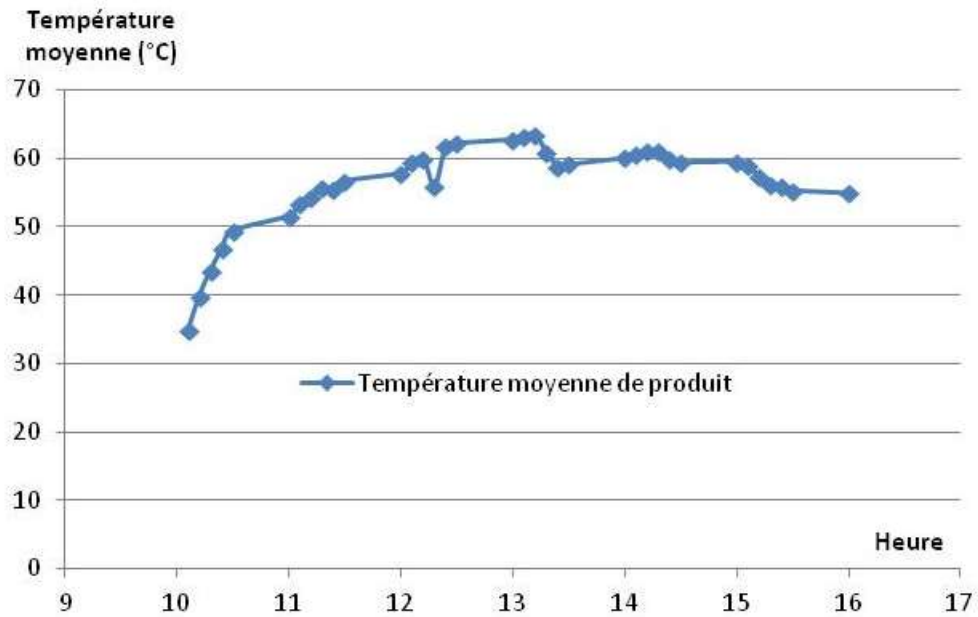


Figure III.7: Température moyenne de produit.

III.2.8. L'humidité moyenne de produit :

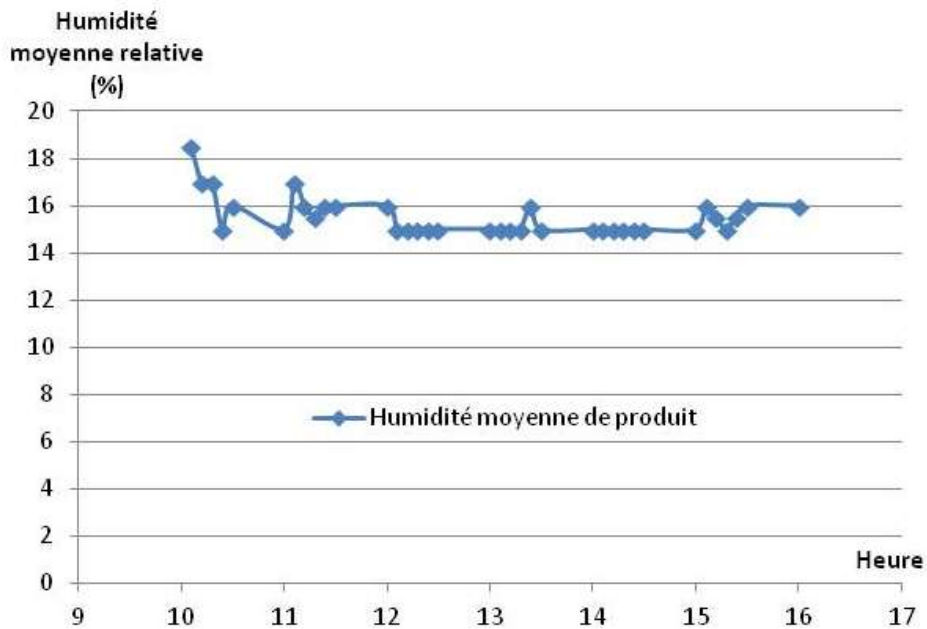


Figure III.8: Humidité moyenne de produit.

La Figure (III.8) représente l'évolution de l'humidité moyenne de produit en fonction du temps. On remarque que l'intervalle de l'humidité moyenne de produit varie entre 15% et 18.5%. Les mêmes observations citées pour l'humidité moyenne dans la chambre restent valables pour l'humidité moyenne relative du produit.

### III.2.9. La perte de masse du produits:

pour le protocole d'expérimentation, on a utilisé deux modes:

- la convection forcée par l'utilisation du panneau solaire à air équipé d'un extracteur d'air pour la circulation du flux d'air
  - La convection naturelle ou le produit est délaissé à l'air libre.
- La convection forcée:

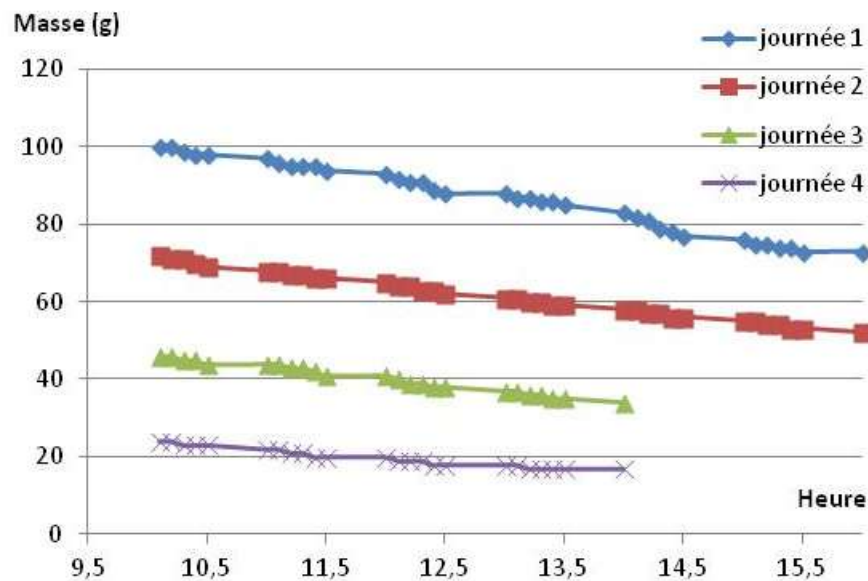






Figure III.9: Perte de masse du produits.

LaFigure (III.9) représente l'évolution de la masse du raisin en fonction du temps pendant 4jours comme il est montré sur la figure , ou l'on constate une diminution de la masse chaque jour comme il est montré ci-dessous:



- Journée 1 diminution de la masse de 100(g) à 73(g).

Avant	Après
	
<p><b>Figure III.10:</b> Début de séchage du raisin.</p>	<p><b>Figure III.11:</b> Fin de la journée 1 de séchage du raisin</p>



- Journée 2 diminution de la masse de 73 (g) à 52(g).

Avant	Après
	
<p><b>Figure III.12:</b> Début de la journée 2 de séchage du raisin.</p>	<p><b>Figure III.13:</b> Fin de la journée 2 de séchage du raisin.</p>

- Journée 3 diminution de la masse de 48(g) à 34(g).

Avant	Après
	
<p><b>Figure III.14:</b> Début de la journée 3 de séchage du raisin.</p>	<p><b>Figure III.15:</b> Fin de la journée 3 de séchage du raisin.</p>

- Journée 4 diminution de la masse de 25(g) à 17(g).

Avant	Après
	
<p><b>Figure III.16:</b> Début de la journée 4 de séchage du raisin.</p>	<p><b>Figure III.17:</b> Fin de la journée 4 de séchage du raisin.</p>

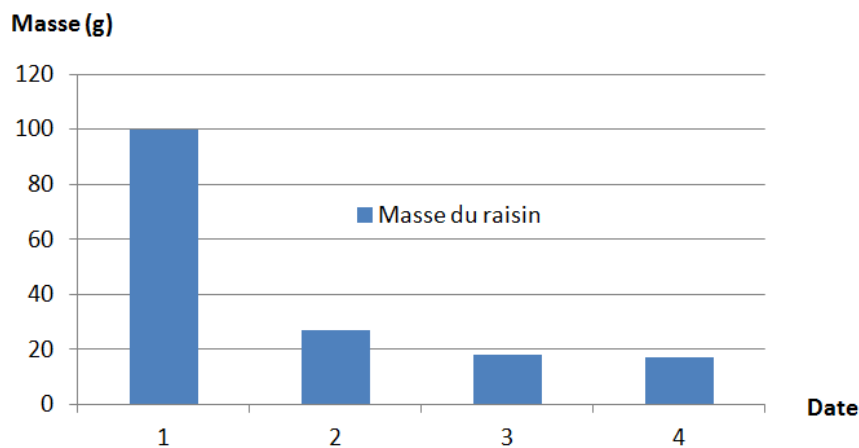
Pour la convection forcée, le produit a mis quatre jours pour être séché complètement tout en présentant une discontinuité pour le temps d'exposition de notre panneau solaire malgré ce résultat final était excellent.

➤ **La convection naturelle (à l'air)**

Concernant la convection naturelle (à l'air), on observe un temps de séchage très long (12 jours) vis-à-vis la convection naturelle (4 jours) comme il est montré sur le Tableau III.1 :

Journée	N	Masse (g)
10/05/2022	1	100
19/05/2022	2	27
22/05/2022	3	18
23/05/2022	4	17

**Tableau III.1:** Evolution de l'opération de séchage du raisin pour une convection naturelle (à l'air)



**Figure III.18:** La variation de la masse pour le raisin durant la convection naturelle.

La Figure III.18 montre la variation de la masse pour le raisin durant la convection naturelle. on remarque que la période de séchage pour le raisin est trop longue (12 jours) par rapport au convection forcée qui a duré seulement quatre jours. On voit nettement l'effet d'utilisation du

panneau solaire et sa contribution dans la réduction du temps de séchage. Les images montrant l'état du raisin avant et après pour chaque journée sont montrées ci-dessous:

- Journée 1:



**Figure III.19:**Début de séchage du raisin.

- Journée 2



**Figure III.20:**Fin de la journée 2 de séchage du raisin.

- Journée 3



Figure III.21: Fin de la journée 3 de séchage du raisin.

- Journée 4



Figure III.22: Fin de l'opération de séchage du raisin.

**III.10. Conclusion :**

Dans ce chapitre, nous avons présenté les résultats concernant les deux modes d'expérimentation qui sont: la convection forcée par l'utilisation du panneau solaire à air et la convection naturelle (à l'air). les résultats favorisent l'utilisation du panneau solaire suite les avantages suivants qui sont:

- Gain du temps: ce facteur est primordiale pour le secteur économique. Pour notre expérience, on a remarqué que la convection naturelle tient beaucoup du temps (12 jours) par rapport au convection forcée par l'utilisation du panneau solaire (4 jours).
- La qualité du produit après le séchage pour les deux cas étudiés est bonne et donne un aspect très encourageant pour la vente au marché en espérant faire des analyses chimiques et physiques sur le produit final après séchage pour mettre en cause sa qualité.

# *Conclusion générale*

### Conclusion générale

Le séchage des fruits et des légumes a un aspect bénéfique dans le secteur économique un protocole d'expérimentation a été établi par une bonne conduction des essais.

Le processus de séchage consiste à sécher des raisins (grands et petit calibre) par l'utilisation d'un panneau solaire à air (convecteur forcé) et à l'air libre (convecteur naturelle). Notre expérience est restreinte au grand calibre du raisin suite au manque du produit sur le marché.

Dans cette étude, nous avons eu plusieurs objectifs tels que :

- Effet du calibre du raisin sur le temps de séchage.
- La qualité du produit après le séchage.
- Etablir une comparaison entre les deux modes opératoires.
- Optimiser le mode opératoire approprié.

Le protocole d'expérimentation cible les paramètres suivants :

- La température d'entrée et sortie du panneau solaire.
- La température moyenne dans la chambre de séchage.
- La température de sortie de la chambre.
- L'humidité à l'entrée et à la sortie du panneau solaire.
- L'humidité moyenne dans la chambre de séchage.
- L'humidité de sortie de la chambre.
- La perte de masse dans les deux modes opératoires.

Les résultats expérimentaux montrent que :

- La convection naturelle prend beaucoup de temps (12 jours) par rapport à la convection forcée par l'utilisation du panneau solaire à air (4 jours). Le deuxième mode opératoire a une dépendance directe avec la consommation d'énergie électrique qu'on doit tenir compte lors de l'exploitation.
- La qualité du produit après le séchage pour les deux cas étudiés est bonne et donne un aspect encourageant pour la vente au marché,

et finalement comme perspective on espère élargir notre étude à une analyse microbiologique, chimique et physique sur le produit final (validateur de la qualité du produit).

## عنوان المذكرة: تجفيف العنب باستخدام لوح الهواء الشمسي

الاسم: ابراهيم

اللقب: خويلد

الاسم: أحمد

اللقب: شيباني

المؤطر: الدكتور بن ساهل جمال

ملخص: تعتبر الشمس مصدر اساسي لنمو الأغذية الطبيعية كما أنها تصنف من بين الطاقات المتجددة و الدائمة لهذا تم استغلال الشمس في دراسة عملية التجفيف لإنتاج غذاء عضوي (تجفيف العنب)  
❖ بواسطة لوح شمسي حراري  
❖ بواسطة تعريض المنتج لأشعة الشمس  
حيث أثبتت التجربة الأولى بواسطة اللوح الشمسي أسرع في الوقت وذو جودة عالية للمنتج عكس التجربة الثانية  
تعريض المنتج للشمس  
كلمات مفتاحية: الطاقة الشمسية ، لواقط شمسية، التجفيف

### Memory title: Grape drying using a solar air panel

Name: Chibani

First name: Ahmed

Name: Khouiled

First name: Ibrahim

Directed by: Dr Djamel Bensahal

**Abstract:** The sun is a primary source for the growth of natural food, and it is classified among the renewable and permanent energies  
That is why the sun was used to study the drying process to produce organic food (drying grapes).

By solar panel

By exposing the product to sunlight

Where the first experiment with the solar panel proved faster in time and high quality of the product, unlike the second experiment exposing the product to the sun.

**Key words:** : solar energy, solar collectors, drying.

### Titre du mémoire : Séchage du raisin par l'utilisation d'un panneau solaire à air

Nom: Chibani

Prénom: Ahmed

Nom: Khouiled

Prénom: Ibrahim

Encadreur: Dr Bensahal Djamel

**Résumé :** Le soleil est une source primaire pour la croissance des aliments naturels, et il est classé parmi les énergies renouvelables et permanentes

C'est pourquoi le soleil a été utilisé pour étudier le processus de séchage pour produire des aliments biologiques (séchage des raisins).

Par panneau solaire

En exposant le produit au soleil

Là où la première expérience avec le panneau solaire s'est avérée plus rapide dans le temps et de haute qualité du produit, contrairement à la deuxième expérience exposant le produit au soleil

**Mots clés :** Énergie solaire, capteurs solaires, séchage.