

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



Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued

FACULTE DE TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE



Mémoire de fin d'étude

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Génie mécanique

Spécialité : Energétique

Thème

Séchage des plantes médicinales en séchoir solaire : cas
d'application type serre

Devant le jury composé de : Présenté par :

ZOBIRI Oussama Président
BOUKHARI Ali Examineur
LAOUINI Abd jalil Encadreur

- BOUCHEMAL Ala Eddine
- HAMDAOUI Ayoub
- KHOUBZI Abd El Mounaim

2022-2023

الملخص:

يهدف هذا البحث إلى معرفة تأثير نموذج المجفف الشمسي منخفض التكلفة والمستقل والمباشر من نوع الدفيئة على سرعة إنتاج الأعشاب الطبية المجففة عالية الجودة مثل النعناع.

حيث كانت نتائج مقارنة تجفيف النعناع الأخضر بطريقة الطبيعة مع أوراق النعناع المجففة بمجفف الدفيئة المدة اللازمة لتجفيف 17.75 غرام من أوراق نعناع الأخضر في يوم حدد فيه متوسط الإشعاع الشمسي 498 $\frac{W}{m^2}$ هو 5.7 ساعة في مجفف دفيئة و 8.5 ساعة في مجفف طبيعي.

المجفف من نوع الدفيئة وسيلة فعالة يسرع عملية التجفيف. يحافظ على سلامة المنتج من العوامل الطبيعية التي قد تؤثر على سلامة المنتج.

الكلمات المفتاحية: مجفف الدفيئة، التجفيف الشمسي، النباتات الطبية، المجمع الشمسي.

Résumé :

Cette recherche vise à étudier l'effet d'un modèle de séchoir solaire de type serre à faible coût, indépendant et direct sur la vitesse de production d'herbes médicinales séchées de haute qualité telles que la menthe.

La serre, où les résultats ont été comparés au séchage de la menthe verte de manière naturelle avec des feuilles de menthe séchées dans un séchoir à serre :

Le temps nécessaire pour sécher 17,75 grammes de feuilles de menthe verte un jour où le rayonnement solaire moyen est de $498 \frac{W}{m^2}$ a été déterminé est de 5,7 heures dans un séchoir à effet de serre et de 8,5 heures dans un séchoir naturel. Le séchoir de type serre est une méthode efficace qui accélère le processus de séchage et maintient l'intégrité du produit contre les facteurs naturels qui peuvent affecter la sécurité du produit.

Mots clés : serre séchoir, séchage solaire, plantes médicinales, capteur solaire.

Abstract:

This research aims to investigate the effect of a low-cost, independent and direct greenhouse-type solar dryer model on the production speed of high-quality dried medicinal herbs such as mint.

The greenhouse, where the results were compared to the drying of green mint in a natural way with dried mint leaves in a greenhouse dryer

The time required to dry 17.75 grams of green mint leaves on a day when the mean solar radiation is $498 \frac{W}{m^2}$ is 5.7 hours in a greenhouse dryer and 8.5 hours in a natural dryer. The greenhouse type dryer is an effective method that speeds up the drying process. It maintains the integrity of the product from natural factors that may affect the safety of the product.

Keywords: greenhouse dryer, solar drying, medicinal plants, solar collector.

Remerciement

Nous remercions d'abord Dieu tout puissant de nous avoir donné la foi, l'amour et la force de faire ce travail.

Tous nos remerciements à notre encadreur Monsieur, LAOUINI Abdeld jalil, Zain Ali ,Rendre la gentillesse et la disponibilité et les choses plus faciles et son expérience et ses conseils était sans aucun doute nécessaire pour aider ce travail pendant la période de recherche, il n'a pas été possible de compléter les expériences sans l'aide de certains professeurs dans le département de mécanique et le département de l'électricité.

Un merci spécial aux boursiers dans le domaine des énergies renouvelables et de la spécialisation Energétique

Dédicaces

*Je dédie mon""....."" à ma famille avec tous mes sentiments de respect,
d'amour, de gratitude et de reconnaissance pour tous les sacrifices déployés
pour m' élever dignement et assurer mon éducation dans les meilleurs
conditions, à messans exception, pour leurs efforts afin de m'assurer
une formation ou bien stage ...solide.*

à tous mes amis ..

à tous les responsables de..

*Nous tenions à dédier set humble travail à nos familles et à tous ceux que
nous aimons pour leurs encouragements et leurs soutiens et à ceux qui ont veillé
à ce que ce travail soit à la hauteur*

*A celui qui m'a indiqué la bonne voie en me rappelant que la volonté fait
toujours les grands hommes...*

A mon Père.

*A celle qui a attendu avec patience les fruits de sa bonne éducation... A ma
Mère.*

A tous mes amis et tous ceux qui me sont chers...

Que Dieu vous gard

Table des matières

Table des matières

Résumé :	2
<i>Remerciement</i>	3
<i>Dédicaces</i>	4
Table des matières	i
Liste des figures	iv
Liste des tableaux	vi
Nomenclature	vii
I.1. Introduction Général	1
I. Chapitre I : Généralités sur le séchage.....	3
I.1. Introduction.....	3
I.2. Historiques[3]	3
I.3. Définition de séchage.....	4
I.4. Mécanisme de séchage.....	5
I.5. Les différents types de séchage.....	7
I.5.1. Séchage conventionnel.....	7
I.5.2. Séchage non conventionnel.....	8
I.6. Grandeurs caractéristiques des gaz humide[10]	8
I.6.1. Humidité absolue	8
I.6.2. Degré de saturation	8
I.6.3. Humidité relative	9
I.7. Teneur en humidité à l'équilibre	9
I.8. Influence des paramètres de l'air sur la cinétique de séchage	9

I.8.1. Influence de la température de l'air	9
I.8.2. Influence de la vitesse de l'air	10
I.8.3. Influence de l'humidité de l'air	10
I.9. Conclusion	10
II. Chapitre II : Les Séchoirs et collecteurs	11
II.1. Introduction	11
II.2. Les capteurs solaires.....	11
II.2.1. Les capteurs photovoltaïques.....	11
II.2.2. Les capteurs thermiques	13
II.3. Les séchoirs solaires	16
II.3.1. Composants du système de séchage solaire	16
II.3.2. Type de séchoir Soler	18
II.4. Séchoir solier type serre	21
II.5. Classification du système de séchage en serre [29].....	21
II.5.1. Séchoir solaire à effet de serre à convection naturelle	21
II.5.2. Sécheur de serre à convection forcée	22
II.5.3. Séchoir hybride solaire à effet de serre	23
II.6. Développements et modifications mis en œuvre sur les séchoirs solaires à effet de serre issus de recherches antérieures.....	24
II.7. Séchoir réalise.....	29
II.8. Conclusion	30
III. Chapitre III : Les plantes médicinale	31
III.1 Introduction	31
III.2. La menthe	31
III.2.1. Définition	31
III.2.2. Les types de la menthe	32

III.3. Safran	34
III.3.1. Définition	34
III.3.2. Classification systématique	35
III.3.3. Composition chimique	35
III.4. Le persil.....	36
III.4.1. Définition	36
III.4.2. Classification systématique	36
III.5. Rosmarinus.....	37
III.5.1. Classification systématique	37
III.5.2. Description botanique	37
III.6. Conclusion.....	38
IV. Chapitre IV : Résultats et discussion	39
IV.1. Introduction.....	39
IV.2. Description et fonctionnement du séchoir solaire.....	39
IV.3. Instrumentation de mesure	39
IV.3.1. Mesure des températures.....	39
IV.3.2. Mesure de la vitesse et de l'humidité de l'air	40
IV.1. Produit utilisé	40
IV.1.1. Compteur d'intensité de rayonnement.....	41
IV.1.2. mesure de masse.....	41
IV.2. Résultats et discussion	42
IV.2.1. Observation	44
V. Conclusion.....	44
Conclusion générale	45
Références	ix

List de figure

Liste des figures

Figure I-1:teneur en humidité en fonction de la vitesse de séchage(B) et teneur en humidité en fonction du temps(A)	6
Figure I-2:Présentation schématique d'un produit humide[5]	7
Figure II-1: cellules en silicium monocristallin[13].....	12
Figure II-2: cellules en silicium polycristallin[14].....	12
Figure II-3:Cellule au Silicium amorphe[15]	13
Figure II-4: cellules à base organiques et plastiques[18]	13
Figure II-5: Types de capteurs solaires.....	14
Figure II-6:collecteurs cylindro-paraboliques et paraboliques[20]	14
Figure II-7:centrales a tour et collecturs fresnel linéqires[20]	15
Figure II-8:Les différents composants d'un capteur plan[21]	15
Figure II-9: capteur solaire à tube sous vide [23]	16
Figure II-10:Schéma de principe d'un séchoir solaire actif.....	17
Figure II-11: Classification des séchoirs solaires.....	18
Figure II-12:principe d'un séchoir solaire direct[5]	19
Figure II-13: séchoir solaire indirect [27]	19
Figure II-14: Schéma du séchoir solaire mixte.	20
Figure II-15: séchoirs hybride[27].....	21
Figure II-16: vue picturale d'un séchoir à serre solaire à convection naturelle[29].....	22
Figure II-17:Séchoir solaire à serre à convection forcée[29].....	23
Figure II-18:Séchoir à serre hybride[29].....	24
Figure II-19: Photographies pour le séchoir à serre modifié en mode passif (a) et en mode actif (b) pour le séchage des chips[30]	25
Figure II-20: Séchoir à serre intégré photovoltaïque[31].	26

Figure II-21: Dispositif expérimental pour les flocons de courge amèreséchage en (a) mode naturel avec capteur solaire, (b)[32].....	26
Figure II-22: <i>Dispositif expérimental pour les flocons de courge amèreséchage soleil ouvertmode</i> [32].....	27
Figure II-23: <i>Photographie du séchoir solaire à effet de serre</i> [33].	27
Figure II-24: <i>Vue imagée et diagramme de charge du séchoir solaire à serre ventilée photovoltaïque</i> [34].	28
Figure II-25: <i>Séchoir réalisée par LAOUINI et al</i>	29
Figure II-26: <i>Dimensions du séchoir réalise</i>	29
Figure II-27: <i>Vues de différents côtés du séchoir réalisé</i>	30
Figure III-1: <i>Menthe poivrée</i> [38]	32
Figure III-2: <i>La menthe pouliot</i> [38]	33
Figure III-3: <i>La menthe verte</i> [38]	33
Figure III-4: <i>Composants de la plante de safran ((1) Corne, (2) Fleur (3) Safran)</i>	34
Figure III-5: <i>parsley</i>	36
Figure III-6: <i>rosmarinus</i>	37
Figure IV-1: <i>Vue intérieure de la sécheuse montrant l'entrée d'air et la position du ventilateur</i>	39
Figure IV-2: <i>appareil de mesure de la température" BTM-4208SD"</i>	40
Figure IV-3: <i>"Lutron AM-4206 "Anemometer</i>	40
Figure IV-4: <i>Feuilles de menthe verte à l'intérieur du séchoir</i>	41
Figure IV-5: <i>pyranomètre "PYR1307"</i>	41
Figure IV-6: <i>balance de électrique</i>	42
Figure IV-7 <i>Menthe en fin de séchage</i>	43
Figure IV-8: <i>Menthe a séchage naturel</i>	43
Figure IV-9: <i>Menthe a base de séchoir</i>	44

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Tableau III-1: <i>Classification systématique de safran</i>	35
Tableau III-2: <i>la classification systématique de Le persil</i>	36
Tableau III-3: <i>Classification systématique de Rosmarinus</i> [41]	37
Tableau IV-1: <i>Valeurs enregistrées pendant le processus de séchage</i>	42

Nomenclature

Nomenclature

H_a	Humidité absolue [kg eau / kg (as)]
M_a	Masse du gaz [kg]
P	Pression totale [Pa]
ψ	Degré de saturation [%]
H_{as}	Humidité absolue de saturation [kg eau / kg (as)]
P_s	Pression de saturation [Pa]
H_R	Humidité relative [kg eau / kg (as)]
X	Teneur en eau du produit à base sèche [kg_{eau}/kg_{ms}]
m_e	Masse de l'eau [Kg]
m_s	Masse sèche du produit [Kg]
m_h	Masse humide du produit[kg]
CCP	Concentrateurs cylindro-paraboliques
FAS	Fluide aromatique synthétique
DSG	Production directe de vapeur
CTV	Collecteur à tubes sous vide
SSM	Séchoir à effet de serre modifié
MA	Mode actif
MP	Mode passif
HUF	Facteur d'utilisation de la chaleur
COP	Plage de coefficient de performance
CIGS	Système intégré de séchage en serre

BIFPVT Système photo thermique bidirectionnel

PCM Matériau à changement de phase

Introduction Général

I.1. Introduction Général

Le séchage (ou la déshydratation) est un processus simple consistant à éliminer l'excès d'eau (humidité) d'un produit naturel ou industriel afin d'atteindre le taux d'humidité spécifié dans les spécifications standard. C'est une opération énergivore. Il est particulièrement essentiel de réduire la teneur en humidité des denrées alimentaires, car celles-ci ont en général une teneur en eau beaucoup plus élevée (environ 25 à 80%, mais généralement environ 70% pour les produits agricoles) que celle qui convient à une conservation longue. Réduire la teneur en humidité des aliments jusqu'à un certain niveau ralentissent l'action des enzymes, des bactéries, des levures et des moisissures. Ainsi, les aliments peuvent être stockés et conservés longtemps sans altération.[1]

Le séchage par énergie solaire est un procédé écologique et peu coûteux. Pour le séchage à niveau contrôlé et en vrac, un séchoir solaire à effet de serre est le séchoir solaire à niveau contrôlé le plus approprié. L'efficacité d'un séchoir solaire à effet de serre peut être augmentée en utilisant le stockage thermique. Les produits agricoles séchés dans les serres seraient de meilleure qualité que ceux séchés au soleil car ils sont à l'abri de la poussière, de la pluie, des insectes, des oiseaux et des animaux. La serre basée sur le stockage de chaleur s'est avérée supérieure pour le séchage de tous les types de cultures par rapport à un séchoir à serre normal, car elle fournit une chaleur constante tout au long du processus de séchage[2].

Les herbes médicinales jouent un rôle important dans la plupart des traitements ayurvédiques et d'autres traitements médicaux orientaux pour de nombreuses maladies chroniques actuelles telles que le cancer, la maladie de Crohn, la colite ulcéreuse et la fibrose kystique. Il existe de nombreux types d'herbes médicinales ; par exemple, le basilic (*Ocimum basilicum* L.) est une plante annuelle de la famille de la menthe (Lamiaceae) qui pousse tout l'été. Il est utilisé depuis des millénaires et fait partie intégrante de nombreuses traditions et rituels. Le basilic est considéré comme une herbe pharmacologique car il peut être utilisé comme agent prophylactique (troubles hépatiques et gastriques), activité anticancéreuse, activité radioprotectrice, activité antipyrétique et activité antioxydante. La menthe (*Mentha spicata* L.) est l'un des groupes de plantes dicotylédones les plus diversifiés et les plus répandus de la famille des Lamiacées ou de la menthe. La menthe est utilisée pour les maux de tête, les irritations cutanées, la diarrhée.

Un séchoir solaire indirect peu coûteux peut être une alternative à la méthode couramment utilisée (c'est-à-dire le séchage direct au soleil). Par conséquent, cette recherche vise à étudier l'effet d'un modèle de séchoir solaire de type serre à faible coût, indépendant et direct sur la vitesse de production d'herbes médicinales séchées de haute qualité, telles que la menthe. En la comparant au séchage naturel, l'étude sera présentée selon le schéma suivant :

- Dans le premier chapitre nous présenterons des généralités sur le séchage
- Dans le deuxième chapitre, nous parlerons des capteurs solaires et des séchoirs, et nous nous concentrerons un peu sur les séchoirs à effet de serre
- Le troisième chapitre montrera quelques plantes médicinales et certaines de leurs propriétés.
- Le quatrième chapitre discutera et analysera les résultats expérimentaux

Chapitre I :

Généralités sur le séchage

I. Chapitre I : Généralités sur le séchage

I.1. Introduction

Le séchage est communément décrit comme l'opération d'éliminer la teneur en eau pour obtenir un produit solide. L'humidité retenue en vrac combinaison chimique, présente dans la matrice du produit ou même piégée dans la microstructure du solide, qui exerce une pression de vapeur inférieure que celle du liquide pur est appelée humidité liée. Humidité supérieure à l'humidité liée est appelée humidité non liée. Lorsqu'un solide est soumis à un séchage thermique, deux processus se produisent simultanément :

- Transfert d'énergie (principalement sous forme de chaleur) de l'environnement environnement pour évaporer l'humidité de la surface.
- Transfert d'humidité interne à la surface du solide et son évaporation ultérieure due à l'application d'énergie.

La vitesse de séchage peut être régie par la vitesse à laquelle les deux les processus se déroulent. Transfert d'énergie sous forme de chaleur de l'environnement au solide humide peut se produire à la suite de la convection, conduction, ou rayonnement et dans certains cas à la suite d'une combinaison de ces effets. Différents séchoirs diffèrent par leur type et leur conception, selon la principale méthode de transfert de chaleur appliquée. Pour en savoir plus, dans ce chapitre nous présenterons quelques généralités sur le séchage.

I.2. Historiques[3]

Le séchage par exposition au soleil est l'une des plus anciennes méthodes utilisant l'énergie solaire, pour la conservation des aliments, comme les légumes, les fruits, le poisson, la viande, etc. Déjà depuis la préhistoire, l'humanité utilisait le rayonnement solaire comme seule source d'énergie thermique disponible pour sécher et conserver toutes les denrées nécessaires pour l'hiver, pour sécher les briques de terre pour leurs maisons et les peaux d'animaux pour s'habiller.

Arian (2ème siècle après JC ; Traduction, 1966) décrit que lorsque Nearchus, l'amiral d'Alexandre le Grand, naviguait avec sa flotte à travers la côte de Macran (aujourd'hui à la frontière Iran / Pakistan), ils sont arrivés dans un endroit appelé " Mahi Khoren » qui en persan signifie mangeurs de poissons (ichthyophages). Ils séchaient de gros poissons en les exposant

au soleil et pilaient le poisson séché en farine pour produire du pain et des gâteaux. Jusqu'à aujourd'hui existe à peu près la même situation d'assèchement dans cette région.

La première installation de séchage connue a été découverte dans le sud de la France et date d'environ 8000 av. C'était une surface pavée de pierre et utilisée pour le séchage des récoltes. La vitesse de la brise ou du vent naturel modéré a été combinée au rayonnement solaire pour accélérer l'assèchement.

Diverses autres installations à travers le monde ont été trouvées datées entre les années 7000 et 3000 avant JC. Il y avait diverses installations combinées, à circulation d'air naturel par rayonnement solaire, pour le séchage principalement des aliments. En Mésopotamie, on a trouvé des sites de séchage solaire et à l'air de matières textiles colorées et de séchage solaire à l'air de plaques d'argile écrites. La première installation de séchage exclusivement à l'air pour les cultures a été trouvée dans la vallée de la rivière hindoue et est datée d'environ 2600 av.

Le célèbre philosophe et médecin grec Aristote (384-322 av. J.-C.), qui a décrit en détail les phénomènes de séchage, a donné, pour la première fois, des explications théoriques sur le séchage. Plus tard, la biomasse et le bois ont été utilisés pour alimenter des fours primitifs pour sécher des matériaux de construction, etc., comme des briques, mais la nourriture n'a été exposée qu'au rayonnement solaire direct. L'industrie du séchage conventionnel a commencé vers le 18ème siècle et à peu près au même moment a commencé l'industrie de la canette pour certains types d'aliments destinés à la conservation. Malgré tout, le séchage par exposition au soleil a continué à être utilisé pour de petites quantités de produits agricoles.

I.3. Définition de séchage

Le séchage est le processus qui consiste à éliminer l'humidité ou l'eau d'un matériau solide ou liquide. Il est généralement effectué pour prolonger la durée de conservation des produits alimentaires, pour réduire le poids et le volume des matériaux, pour améliorer la qualité des produits, ou pour faciliter leur traitement ou leur stockage. Il existe plusieurs méthodes de séchage, telles que le séchage naturel à l'air libre, le séchage par ventilation, le séchage par convection, le séchage par rayonnement, le séchage par lyophilisation, le séchage sous vide, etc. Le choix de la méthode de séchage dépend du type de matériau à sécher et de l'objectif du processus de séchage.

I.4. Mécanisme de séchage

Le séchage peut être défini comme la vaporisation et l'élimination de l'eau ou d'autres liquides d'une solution, d'une suspension ou d'un autre mélange solide-liquide pour former un solide sec. C'est un processus compliqué qui implique des transferts simultanés de chaleur et de masse, accompagnés de transformations physico-chimiques. Le séchage se produit à la suite de la vaporisation du liquide en fournissant de la chaleur à la matière première humide, aux granulés, aux gâteaux de filtration, etc. Sur la base du mécanisme de transfert de chaleur utilisé, le séchage est classé en séchage direct (convection), indirect ou par contact (conduction), radiant (rayonnement) et diélectrique ou micro-ondes (radiofréquence).[4]

Le transfert de chaleur et le transfert de masse sont des aspects critiques dans les procédés de séchage. La chaleur est transférée au produit pour évaporer le liquide, et la masse est transférée sous forme de vapeur dans le gaz environnant. Le taux de séchage est déterminé par l'ensemble des facteurs qui affectent le transfert de chaleur et de masse. On entend généralement par séchage des solides suivre deux zones de séchage distinctes, appelées période à taux constant et période à taux décroissant. Les deux zones sont délimitées par un point de rupture appelé la teneur en humidité critique.

Dans un graphique typique de la teneur en humidité en fonction de la vitesse de séchage et de la teneur en humidité en fonction du temps (FigureI- 1), la section AB représente la période à taux constant. Dans cette zone, l'humidité est considérée comme s'évaporant d'une surface saturée à une vitesse régie par la diffusion depuis la surface à travers le film d'air stationnaire qui est en contact avec elle. Cette période dépend de la température de l'air, de l'humidité et de la vitesse de l'humidité à la surface, qui à leur tour déterminent la température de la surface saturée. Pendant la période de débit constant, le liquide doit être transporté vers la surface à un débit suffisant pour maintenir la saturation.

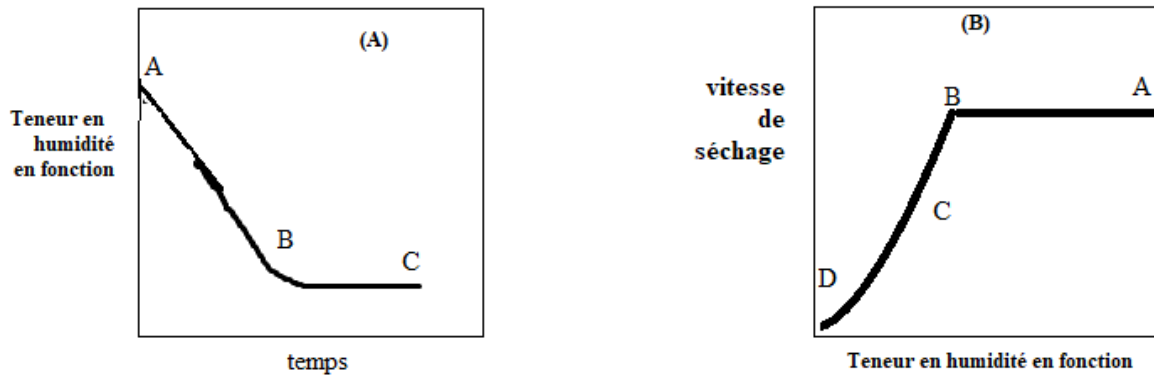


Figure I-1: *teneur en humidité en fonction de la vitesse de séchage(B) et teneur en humidité en fonction du temps(A)*

A la fin de la période à vitesse constante (point B, figure 1), une rupture de la courbe de séchage se produit. Ce point est appelé la teneur en humidité critique et une chute linéaire de la vitesse de séchage se produit avec un séchage supplémentaire. Cette section, le segment BC, est appelée la première période de taux de chute.

Au fur et à mesure que le séchage progresse, l'humidité atteint la surface à une vitesse décroissante et le mécanisme qui contrôle son transfert influencera la vitesse de séchage. Puisque la surface n'est plus saturée, elle aura tendance à s'élever au-dessus de la température de bulbe humide. Cette section, représentée par le segment CD sur la figure I-1, est appelée deuxième période de taux de chute et est contrôlée par diffusion de vapeur.

Le mouvement du liquide peut se produire par diffusion sous le gradient de concentration créé par l'épuisement de l'eau à la surface. Le gradient peut être causé par l'évaporation, ou à la suite de forces capillaires, ou par un cycle de vaporisation et de condensation, ou par des effets osmotiques.

La capacité du flux d'air (gaz) à absorber et à évacuer l'humidité détermine la vitesse de séchage et établit la durée du cycle de séchage. Les deux éléments essentiels à ce procédé sont la température de l'air en entrée et le débit d'air. Plus la température de l'air de séchage est élevée, plus sa capacité de rétention de vapeur est élevée. Comme la température des granulés humides dans un gaz chaud dépend de la vitesse d'évaporation, la clé de l'analyse du processus de séchage est la psychrométrie, définie comme l'étude des relations entre les bilans matière et énergétique du mélange vapeur d'eau et air.

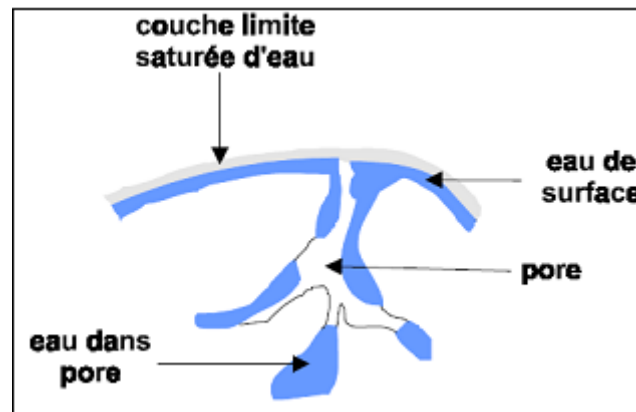


Figure I-2:Présentation schématique d'un produit humide[5]

Produit humide peut se représenter schématiquement comme sur la Fig. I.2. Le solide a un film d'eau adhérant à sa surface externe par des forces superficielles.

I.5. Les différents types de séchage

I.5.1. Séchage conventionnel

- 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.[6]
- La lyophilisation ; Le principe de la lyophilisation à l'air est relativement simple à comprendre dans la théorie, car il fait appel à des réactions plutôt courantes mais il est plus dur à comprendre dans son application à cause de l'association complexe de toutes les réactions. En effet, on peut décomposer la lyophilisation en deux phases principales, la phase de congélation et la phase de déshydratation. Cette dernière se subdivise encore en deux parties : étape de la sublimation et étape de désorption.

La lyophilisation est utilisée, notamment pour la grande qualité du produit final, dans différents domaines, tels que l'industrie agroalimentaire, la médecine, la pharmacie... Malgré ses diverses applications, le principe reste le même, mais il est très coûteux, ce qui limite son utilisation [7]

- Séchage solaire

I.5.2. Séchage non conventionnel

- Séchage par microondes ; le séchage par microonde appartient au type de séchage par ébullition et obéit à un transfert de chaleur par rayonnement. Ce rayonnement, issu des ondes électromagnétiques, a une fréquence qui se situe entre celle de la lumière infrarouge et celle des ondes de télévision. Sa longueur d'onde est comprise entre 1 mm et 1m, et sa fréquence varie de 300 Mhz à 300Ghz, en utilisant comme énergie primaire l'électricité.[8]
- Séchage osmotique ; Le traitement osmotique est en fait une combinaison de processus de déshydratation et d'imprégnation, qui peut minimiser les modifications négatives des composants alimentaires frais.

La déshydratation osmotique, également appelée « procédé de trempage d'imprégnation déshydratante », est un processus d'élimination de l'eau qui implique le trempage des fruits et légumes dans du sel ou du sucre hypertonique ou dans une solution combinée, pour réduire la teneur en eau tout en augmentant la teneur en solides solubles[9].

I.6. Grandeurs caractéristiques des gaz humide[10]

I.6.1. Humidité absolue

On appelle humidité absolue ou spécifique, ou teneur en humidité, ou plus simplement humidité d'un gaz, 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 :

$$H_a = \frac{M_a}{M_e} \quad \text{I-1}$$

Si on considère P la pression totale du mélange de gaz et de vapeur, on peut écrire dans le cas de l'air humide :

$$H_a = \left(\frac{18}{29}\right) \left[\frac{P}{P - P_v}\right] = 0.622 \left[\frac{P}{P - P_v}\right] \quad \text{I-2}$$

I.6.2. Degré de saturation

Soit H_a la valeur de l'humidité d'un gaz pour une certaine température et H_{as} la valeur de l'humidité correspondant à l'état de saturation pour la même température ; on appelle degré de saturation d'un gaz, le rapport :

$$\psi = \frac{H_a}{H_{as}} \quad \text{I-3}$$

Dans le cas où P_V et P_S sont tout deux petits devant P (cas de l'air humide sous la pression atmosphérique et pour des températures peu élevées), on peut écrire :

$$\psi = \frac{H_a}{H_{as}} = \frac{P_V}{P_S} \quad \text{I-4}$$

I.6.3. 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

$$H_R = \frac{P_V}{P_S} \quad \text{I-5}$$

I.7. Teneur en humidité à l'équilibre

Tout produit qu'il soit d'origine végétale, animale ou minérale contient de l'eau. On peut donc distinguer dans tout produit de masse totale m [5] :

- Une masse m_e d'eau
- On définit l'humidité ou teneur en eau du produit (en base sèche) par :

$$X = \frac{m_e}{m_s} \quad \text{I-6}$$

L'humidité d'un produit peut aussi être définie par la teneur en eau en base humide :

$$X_h = \frac{m_e}{m} \quad \text{I-7}$$

Les deux grandeurs sont liées par les relations :

$$X = \frac{X_h}{m - X_h} \text{ et } X_h = \frac{X}{m - X_h} \quad \text{I-8}$$

On utilise plus souvent la teneur en eau base sèche, lorsque l'on parle de teneur en eau (sans précision).

I.8. Influence des paramètres de l'air sur la cinétique de séchage

I.8.1. Influence de la température de l'air.

La température de l'air asséchant influe considérablement sur la vitesse de séchage. Cette influence est due à l'apport de chaleur au produit qui croît avec la température de l'air.

Elle est aussi due à la température du produit qui est d'autant plus importante que la température de l'air élevée. Par conséquent, les conductivités de l'eau dans le produit deviennent importantes [8, 10] .

I.8.2. Influence de la vitesse de l'air

La vitesse de l'air agit positivement sur la cinétique de séchage surtout au début de l'opération. Cependant, pour des produits dont la cinétique de séchage est contrôlée par la migration interne de l'eau, l'influence de la vitesse de séchage de l'air devient très faible [8, 10].

I.8.3. Influence de l'humidité de l'air

La teneur en eau de l'air, joue un rôle important sur le comportement des cinétiques de séchage de certains produits, il semble que cette influence est plus importante au début de séchage et diminue lorsque la température de l'air augmente [8, 10].

I.9. Conclusion

La vitesse de séchage est une quantité très importante, déterminée par la température et la teneur en humidité du produit ainsi que la température, l'humidité relative et la vitesse de l'air de séchage. C'est ce que nous avons appris à travers ce chapitre, en plus de la notion de séchage, de son mécanisme, et des différents types de séchage.

Chapitre II :

Les Séchoirs et collecteurs

II. Chapitre II : Les Séchoirs et collecteurs

II.1. Introduction

Depuis l'Antiquité, l'homme a exploité l'énergie solaire thermique, comme le séchage des récoltes agricoles et de la viande afin de les conserver. Il a donc travaillé pour améliorer son exploitation de cette grande énergie, il a donc utilisé des capteurs d'énergie solaire pour la convertir directement en énergie thermique, comme le chauffage de l'eau sanitaire, ou indirectement, comme dans le cas de la production d'électricité dans une station d'énergie solaire thermodynamique, où l'énergie solaire thermique dépend de l'utilisation de la chaleur transmise par rayonnement, qui diffère de celle des cellules photovoltaïques dans lesquelles l'électricité est générée par des photons. Il travaille toujours à l'amélioration spectaculaire des technologies de captage solaire direct afin de rendre les systèmes solaires plus fiables, efficaces et rentables.

Dans ce chapitre, nous découvrirons les capteurs solaires et l'un des systèmes d'utilisation de l'énergie solaire, à savoir les séchoirs solaires.

II.2. Les capteurs solaires

Un capteur solaire est un appareil qui absorbe la lumière du soleil et la convertit en électricité ou en chaleur, selon le type de capteur. Il existe deux types de capteurs :

II.2.1. Les capteurs photovoltaïques

Les panneaux solaires photovoltaïques contiennent un réseau de cellules semi-conductrices de type n et de type p. L'apparition d'un flux lumineux sur cette dernière va créer une différence de potentiel grâce à la génération de porteurs de charge excités par le flux lumineux à proximité de la jonction, qui agissent en absorbant ce flux lumineux. En d'autres termes, une cellule photovoltaïque est un composant semi-conducteur capable de convertir directement l'énergie solaire en énergie électrique, et cette conversion d'énergie se fait en créant et en déplaçant les charges électriques positives et négatives dans un matériau semi-conducteur sous la lumière. L'effet de la lumière.

Cette transformation est donc basée sur [11]:

- 1) Absorption des photons grâce à l'écart entre les bandes de valence et de conduction. Ce que représente d'ailleurs la caractéristique fondamentale des semi-conducteurs.

- 2) Conversion de l'énergie photonique en énergie électrique, ce qui permet de créer les paires électron/trou.
- 3) La jonction p-n ou l'hétérojonction, lorsque ' il s'agit de deux semi-conducteurs différents permet de collecter les particules générées dans le matériau

a) Les types de panneaux solaires :

Les panneaux solaires varient selon la technologie des cellules photovoltaïques qui les composent[12] :

Les cellules à base de silicium monocristallin ; Pour ce genre d'applications technologiques, le silicium pur est obtenu à partir de la silice de quartz ou de sable par transformation chimique métallurgique. Le silicium a un rendement électrique et une durée de vie de l'ordre de deux fois celle du silicium amorphe, mais il est nettement plus cher.



Figure II-1: *cellules en silicium monocristallin*[13]

Les cellules à base de silicium poly cristallin ; Le silicium polycristallin est un matériau composé de cristaux juxtaposés obtenus par moulage. Ce matériau est moins coûteux (que le monocristallin). Les cellules carrées ou rectangulaires sont faciles à utiliser.

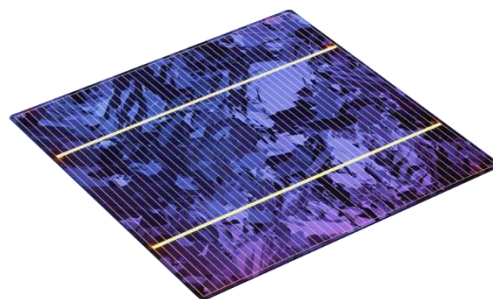


Figure II-2: *cellules en silicium polycristallin*[14]

Les cellules à base de silicium amorphe ; Le silicium absorbe le rayonnement solaire jusqu'à 100 fois mieux qu'en état cristallin ; les cellules sont constituées par des couches très mince



Figure II-3: *Cellule au Silicium amorphe*[15]

Les cellules à base organiques et plastiques ; Elles sont composées d'une bicouche de molécules évaporées sous vides, atteint 0.95% de rendement de conversion, ces cellules comprennent deux voies des cellules « humide » et la voie des cellules polymère organique dite aussi cellules « plastiques ».

Le progrès de ces technologies est très rapide, des records de rendement sont très fréquemment battus (actuellement près de 6%). Elles ouvrent également la voie aux applications légères, nomades et souples.[16, 17]

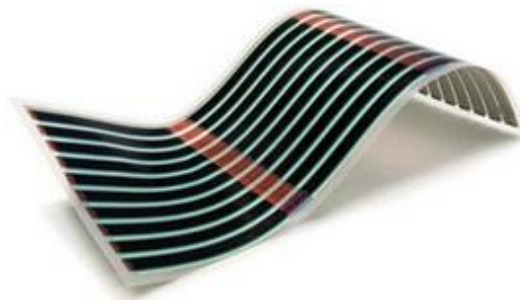


Figure II-4: *cellules à base organiques et plastiques*[18]

II.2.2. Les capteurs thermiques

Il existe deux types de capteurs solaires thermiques, les capteurs à concentration et les capteurs sans concentration(figII-5) :

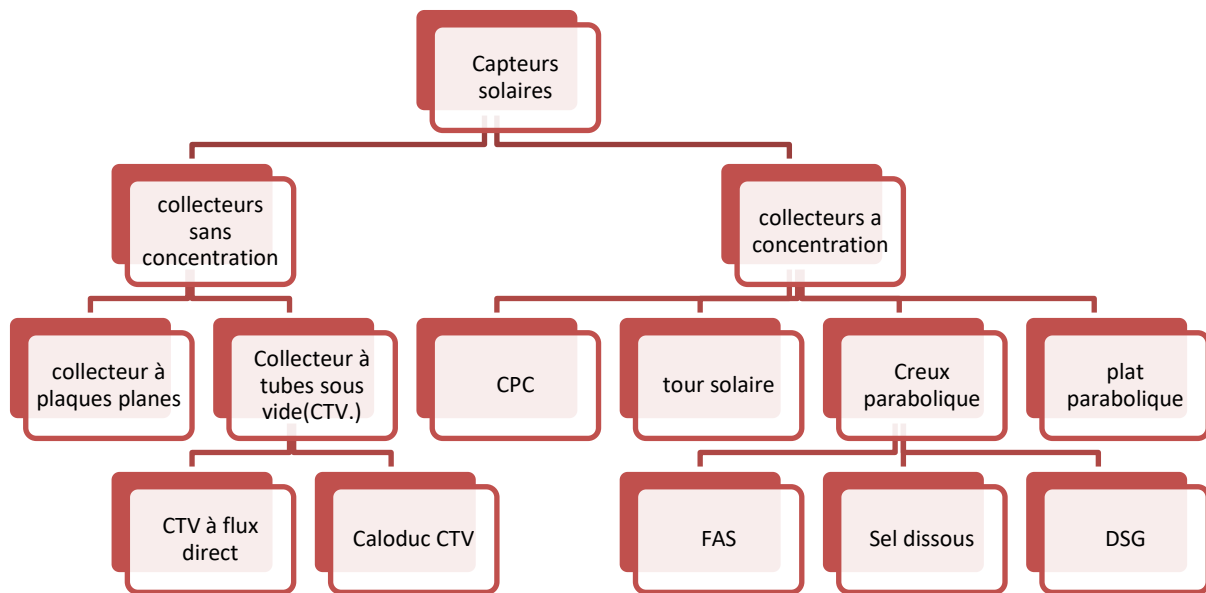


Figure II-5: Types de capteurs solaires[19].

A. Les capteurs à concentration

Les concentrateurs solaires utilisent des surfaces réfléchissantes (miroirs) paraboliques ou cylindro-paraboliques (CCP) pour concentrer les rayons solaires respectivement dans un foyer ponctuel ou linéaire. Dans le foyer ponctuel ou le long du foyer linéaire se trouvent les récepteurs (absorbeurs) qui captent la chaleur solaire ainsi concentrée[20].

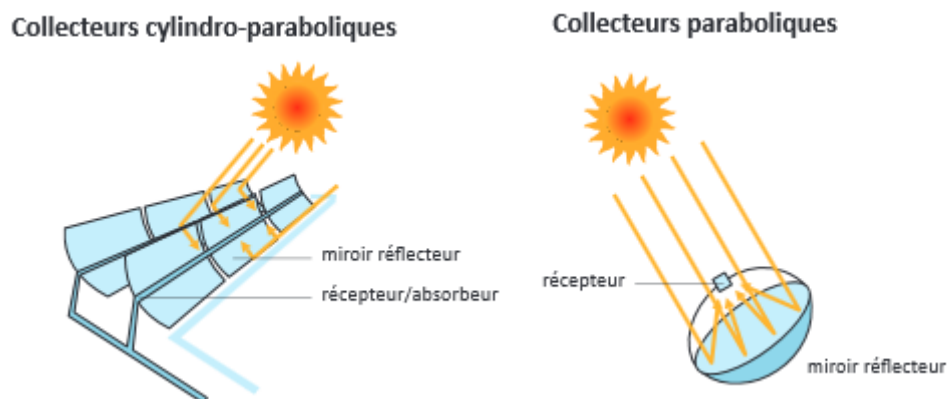


Figure II-6:collecteurs cylindro-paraboliques et paraboliques[21]

Système de centrale à tour (héliostat); Un héliostat utilise un ensemble de pointeurs solaire à double axe qui dirige l'énergie du soleil vers un grand absorbeur situé dans une tour. Ces capteurs possèdent un ensemble de grands miroirs qui suit le mouvement du soleil. Les miroirs concentrent les rayons du soleil sur le récepteur en haut de la grande tour.[1]

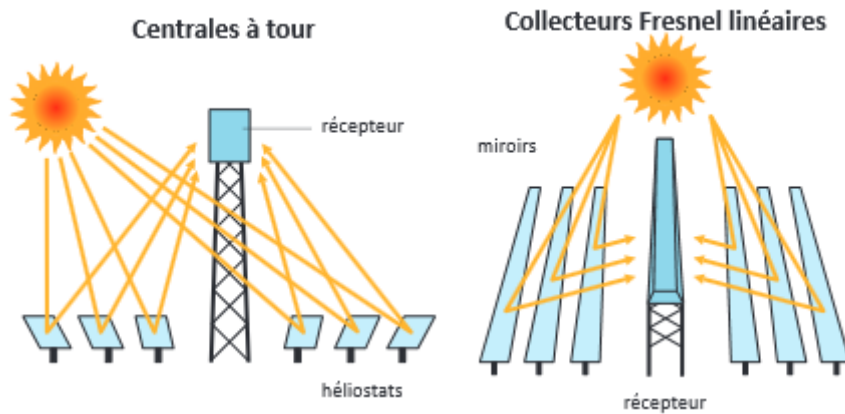


Figure II-7:centrales a tour et collecturs fresnel linéaires[21]

B. Les capteurs sans concentration

Les capteurs solaires thermiques plans : Les capteurs solaires plans, sont conçus pour la conversion de l'énergie solaire par voie thermodynamique ou bien la conversion thermique de l'énergie solaire. [12].

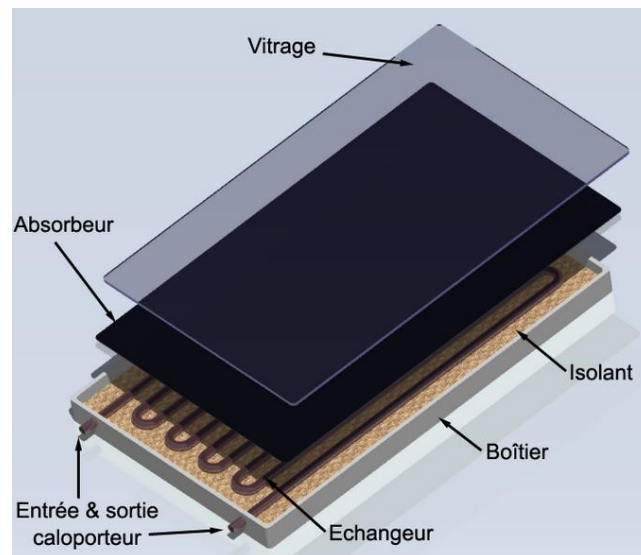


Figure II-8:Les différents composants d'un capteur plan[22]

Les capteurs à tubes sous vide ; Un capteur solaire à tube sous vide est un type de capteur solaire thermique qui améliore les capteurs plans. Les capteurs solaires visent à convertir le rayonnement solaire en énergie thermique en réduisant les pertes de chaleur.

Le capteur solaire à tube sous vide se compose d'un ensemble de tubes cylindriques. Les tubes sont constitués d'un absorbeur sélectif sur un siège réfléchissant et entouré d'un cylindre en verre transparent[23].



Figure II-9: capteur solaire à tube sous vide [24]

II.3. Les séchoirs solaires

L'objectif d'un séchoir solaire est de fournir une quantité suffisante de chaleur, c'est-à-dire plus que la chaleur ambiante sous une humidité donnée. Il augmente la pression de vapeur de l'humidité confinée dans le produit et diminue l'humidité relative de l'air de séchage de sorte que la capacité de transport d'humidité de l'air puisse être augmentée. L'air est aspiré à travers le séchoir par convection naturelle ou parfois par un ventilateur. Il est chauffé lors de son passage dans le collecteur, puis partiellement refroidi lorsqu'il capte l'humidité du matériau. Le matériau est chauffé à la fois par l'air et parfois directement par le soleil. L'air chaud peut contenir plus d'humidité que l'air froid pour maintenir l'humidité relative, de sorte que la quantité d'humidité éliminée dépend de la température à laquelle il est chauffé dans le collecteur ainsi que de l'humidité absolue de l'air lorsqu'il est entré dans le collecteur. La capacité d'absorption d'humidité de l'air est affectée par son humidité initiale et par la température à laquelle il est ensuite chauffé.

II.3.1. Composants du système de séchage solaire

- **Collecteur solaire :** Le composant crucial de tout séchoir solaire est le capteur solaire qui absorbe le rayonnement solaire, le convertit en énergie thermique et transfère

l'énergie au fluide de travail à l'intérieur de la chambre solaire. Dans un capteur solaire à air, l'air chauffé s'écoule naturellement ou par un ventilateur dans la chambre de séchage où les cultures sont placées. Dans un capteur solaire à eau, il y a un échange de chaleur entre l'eau et l'air dans une chambre de séchage. En conséquence, l'air chaud éliminera l'humidité et assèchera les cultures. Le type sans concentration a un faible taux de concentration. Il est généralement positionné dans une inclinaison et une orientation spécifique en fonction des données géographiques et météorologiques, pour assurer une absorption maximale du rayonnement solaire.

- **La chambre de séchage :** est un compartiment où les récoltes sont généralement placées pendant le processus de séchage. Un séchoir solaire peut soit avoir un système solaire séparé chambre ou un capteur solaire combiné et une chambre de séchage. Séchage la chambre peut être construite à partir de matériaux peu coûteux et facilement disponibles.

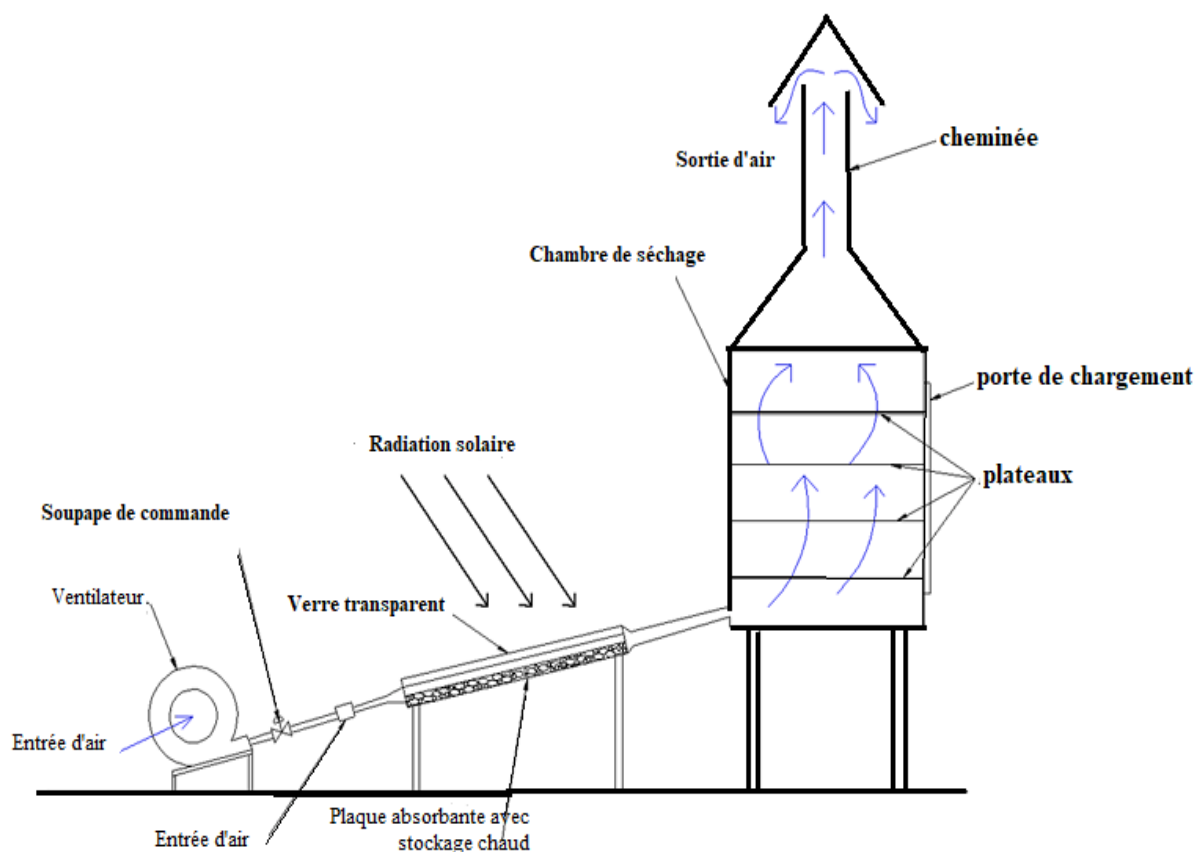


Figure II-10: Schéma de principe d'un séchoir solaire actif[25].

II.3.2. Type de séchoir Soler

Les séchoirs solaires peuvent être principalement classés selon eux modes de chauffage et méthode d'utilisation de la chaleur solaire.

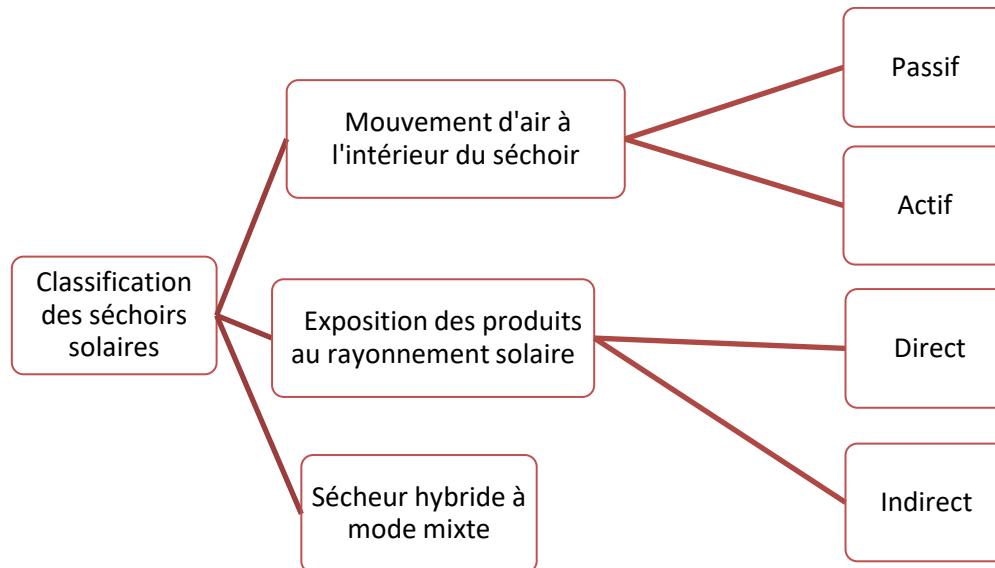


Figure II-11: Classification des séchoirs solaires[25].

Ils peuvent être classés en deux groupes principaux, à savoir :

- Système de séchage actif à énergie solaire (dont la plupart sont souvent appelés séchoir solaire hybride).
- Système de séchage solaire passif (conventionnellement appelé système de séchage solaire à circulation naturelle).

1) Les séchoirs solaires à l'air

C'est une méthode qui a été utilisée depuis l'antiquité et qui existe encore aujourd'hui, et qui est le produit le plus clair à l'air libre, bien que le séchage à l'air soit une technique facile et peu coûteuse, mais elle entraîne de grandes pertes[26].

2) Séchoir solaire direct

Dans ces séchoirs, les rayons du soleil frappent directement le produit. Ils sont simples et se composent d'une seule pièce qui représente à la fois la chambre de séchage et le capteur solaire. Ces séchoirs peuvent avoir plusieurs formes en fonction du produit et de la quantité à sécher. La forme la plus courante est celle d'un séchoir solaire dont la surface transparente est inclinée suivant un angle bien déterminé dépendant de la position et orienté généralement au Sud. La

chaleur est générée par absorption des radiations solaires incidentes sur le produit proprement dit, à travers la surface transparente qui couvre la chambre de séchage[5, 27]

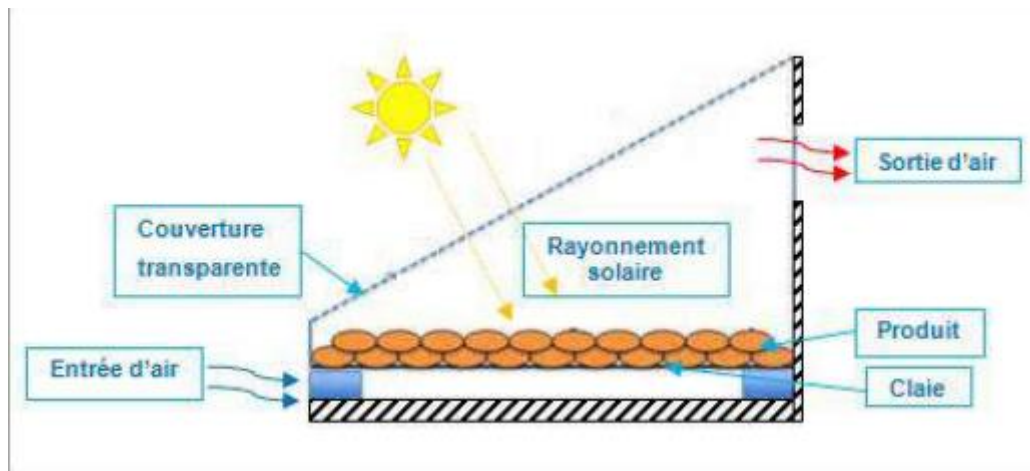


Figure II-12: principe d'un séchoir solaire direct[5]

3) Séchoir solaire indirect

Dans les séchoirs solaires indirects, le rayonnement solaire est incident sur un capteur solaire séparé qui chauffe ensuite l'air à l'intérieur. L'air chauffé se déplace ensuite vers la chambre de séchage pour éliminer l'humidité des produits. La chambre de séchage est faite d'un matériau opaque ou solide qui empêche l'exposition directe des produits au soleil[25]

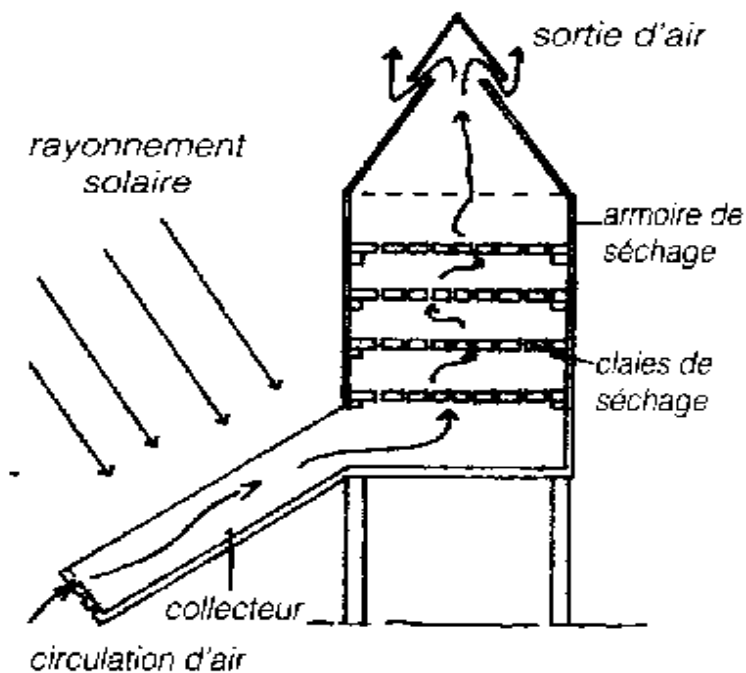


Figure II-13: séchoir solaire indirect [28]

4) Séchoirs solaires mixtes

Ces séchoirs combinent le principe de séchage direct et indirect. Dans ces séchoirs, Les produits subissent l'action combinée du rayonnement solaire frappant directement les produits et de l'air réchauffé dans un capteur situé en dessous de la chambre de séchage. Les surfaces supérieures de la chambre de séchage et du capteur des séchoirs mixtes sont transparents.[29]

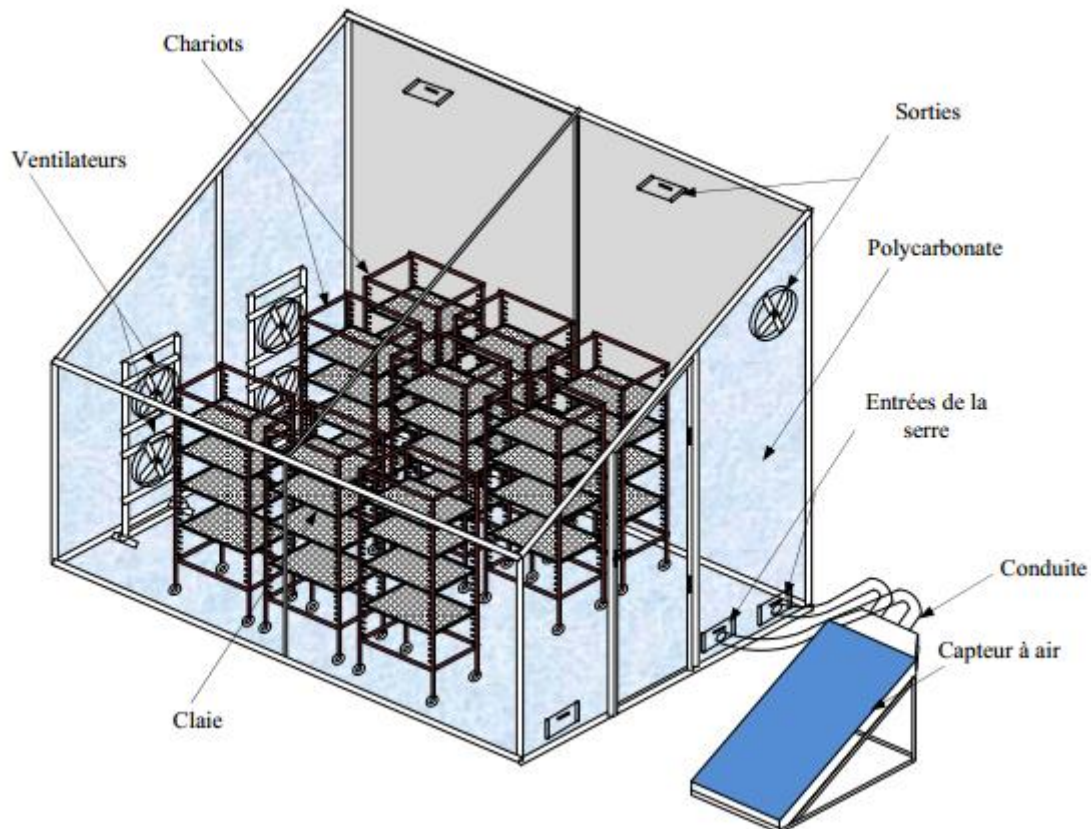


Figure II-14: Schéma du séchoir solaire mixte[30].

5) Séchoirs solaires hybrides par autre facteur

Les séchoirs solaires peuvent également être classés en fonction d'autres facteurs tels que comme matériau de construction, conception de la chambre de séchage et du système auxiliaire. La conception de la construction inclut le type de chambre de séchage, qu'elle soit de type tunnel, de forme parabolique ou autre. Le séchoir solaire hybride est un type de séchoir solaire qui utilise de l'énergie supplémentaire provenant d'autres sources (c'est-à-dire la biomasse, l'électricité) ou le stockage d'énergie (c'est-à-dire le stockage thermique) pour assister le processus de séchage appelé système auxiliaire[25].

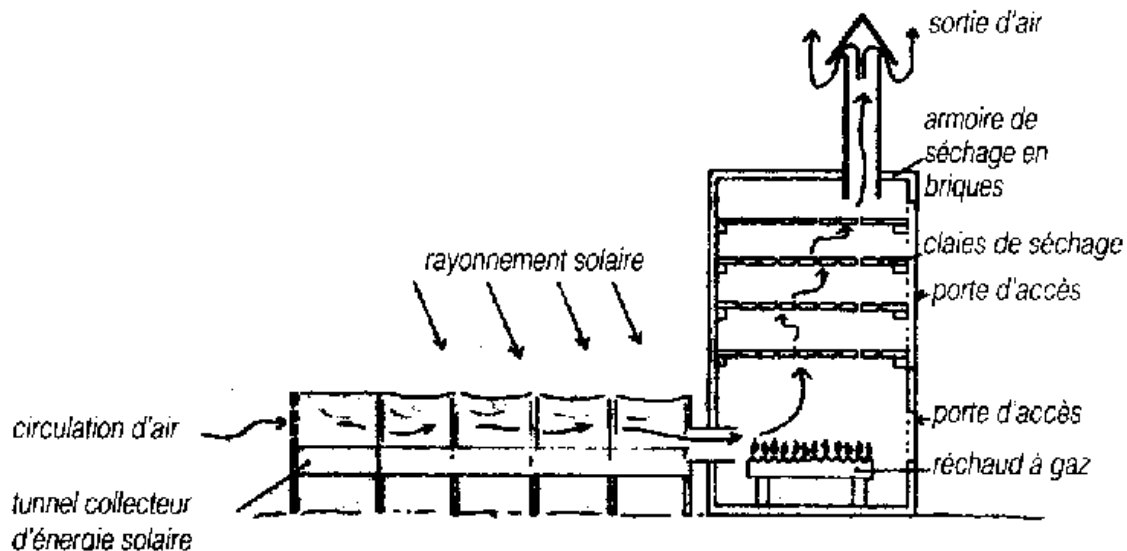


Figure II-15: séchoirs hybride[28]

II.4. Séchoir solier type serre

Ces dernières années, les développements des séchoirs à effet de serre se sont principalement concentrés sur l'amélioration de l'efficacité du séchage, l'utilisation efficace de l'énergie solaire disponible et la réduction de la période de séchage. L'intégration du séchoir à air solaire, le fonctionnement automatisé en boucle fermée, l'utilisation de matériaux à changement de phase, etc. sont quelques-unes des innovations mises en œuvre sur le séchoir à effet de serre.

II.5. Classification du système de séchage en serre [31]

II.5.1. Séchoir solaire à effet de serre à convection naturelle

Avec ce type de séchoir, le rayonnement incident est transmis à travers la canopée du système, ce qui entraîne le réchauffement des cultures. La température de la culture augmente car le rayonnement solaire est absorbé. Le principe de l'effet thermosiphon fonctionne dans le séchoir solaire à convection naturelle. Une ventilation est prévue en haut du sécheur, ce qui permet à l'air humide d'être évacué du sécheur. Les forces de flottabilité sont responsables de la circulation de l'air chauffé à travers la culture lors de l'utilisation de ce type de système. Le mouvement de l'air à l'intérieur de la chambre de séchage est appelé mode passif et un séchoir fonctionnant dans un tel mode de fonctionnement à convection est appelé séchoir solaire à convection naturelle. La figure(II-16) montre la vue picturale d'un séchoir à serre solaire à convection naturelle.

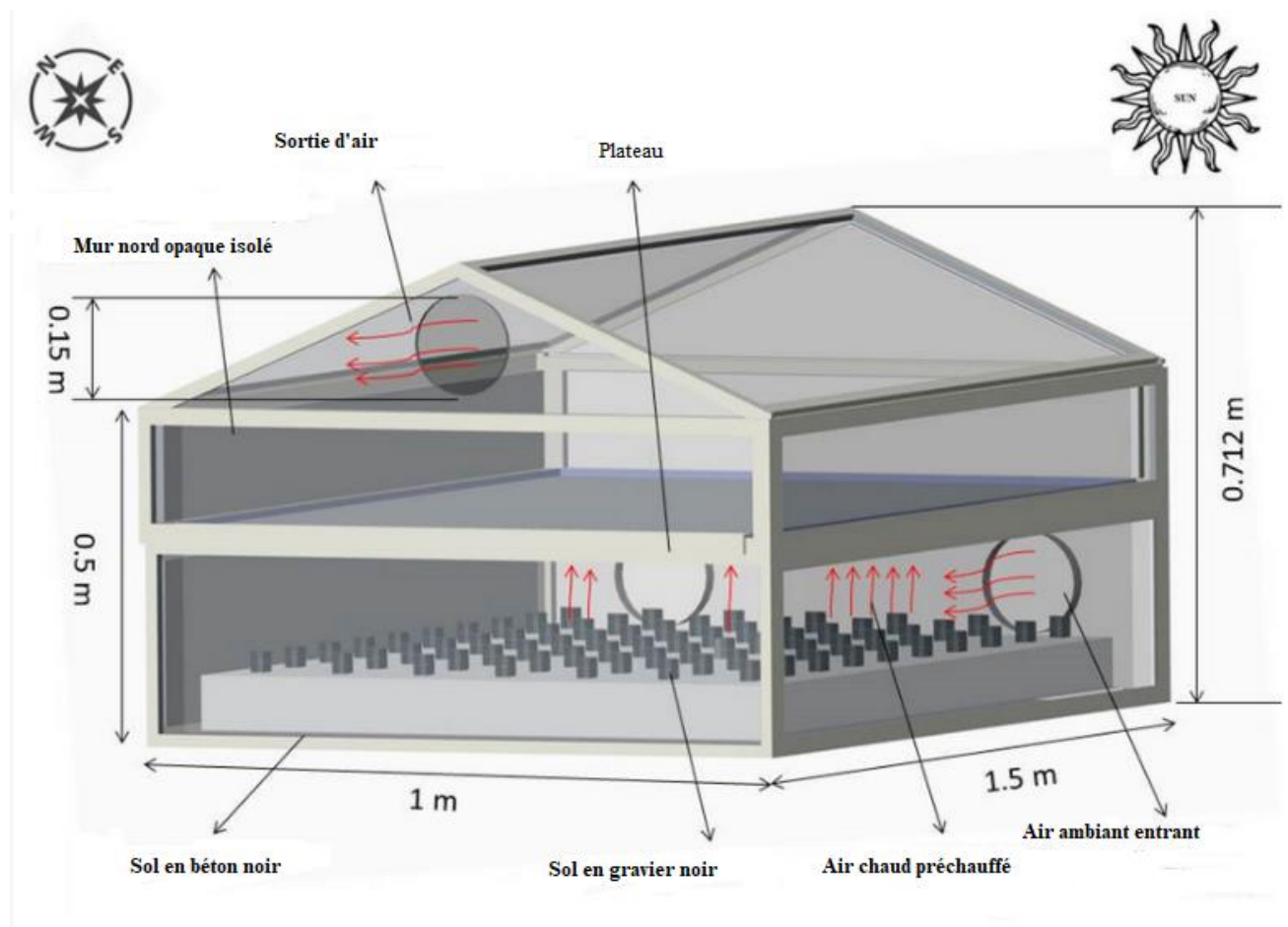


Figure II-16: *vue picturale d'un séchoir à serre solaire à convection naturelle*[31].

II.5.2. Sécheur de serre à convection forcée

Afin de réguler la température et l'évaporation de l'humidité, un flux d'air optimal est nécessaire pour le séchoir à serre tout au long du processus de séchage ; ceci est réalisé en observant les changements dans les conditions météorologiques. Un ventilateur d'extraction est installé sur le mur ouest pour éliminer l'air humide.

Le débit d'air séchoir à serre est régulé par l'utilisation d'un souffleur ou d'un ventilateur ; c'est ce qu'on appelle un séchoir solaire à convection forcée. La figure (II-17) montre la vue picturale d'un séchoir à serre solaire à convection forcée.

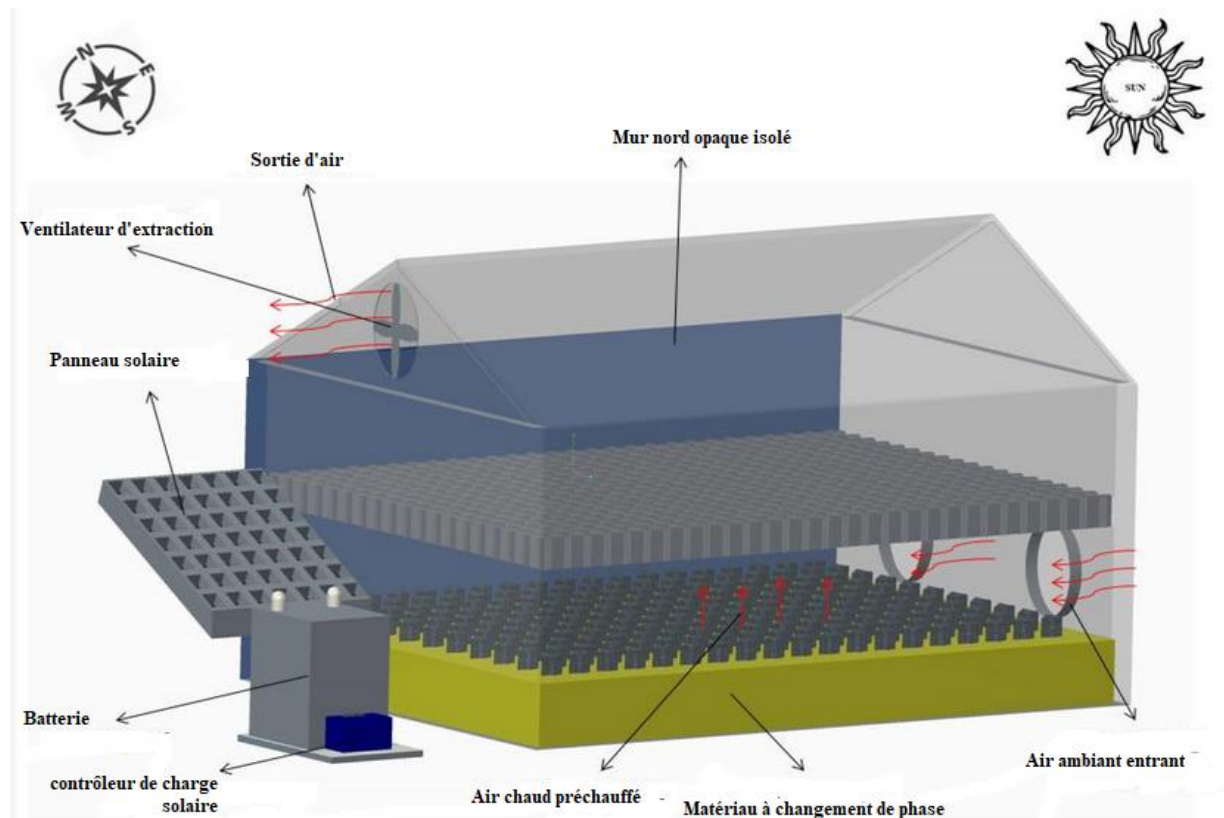


Figure II-17: Séchoir solaire à serre à convection forcée[31]

II.5.3. Séchoir hybride solaire à effet de serre

Le système de séchage solaire est principalement divisé en trois modes de fonctionnement ; mode direct, mode indirect et mode hybride. Concernant le séchoir solaire hybride, la combinaison de deux sources d'énergie est fournie à des fins de séchage. La combinaison de deux sources peut être entièrement renouvelable ou non renouvelable. Les types de séchoirs solaires hybrides sont :

- 1) Séchoir solaire hybride assisté par géothermie ;
 - 2) Séchoir solaire hybride assisté par énergie biomasse ;
 - 3) Séchoir solaire hybride assisté par l'énergie océanique/éolienne
 - 4) Séchoir solaire hybride assisté par les énergies renouvelables ;
 - 5) Séchoir solaire hybride assisté par aérotherme solaire. Dans un séchoir à serre hybride,
 - 6) Le séchoir est assisté par d'autres sources d'énergie. De plus, le séchoir hybride devrait avoir la capacité de fonctionner à la fois en mode actif et passif selon ce qui est requis.
- La figure (II-18) représente le séchoir serre hybride.

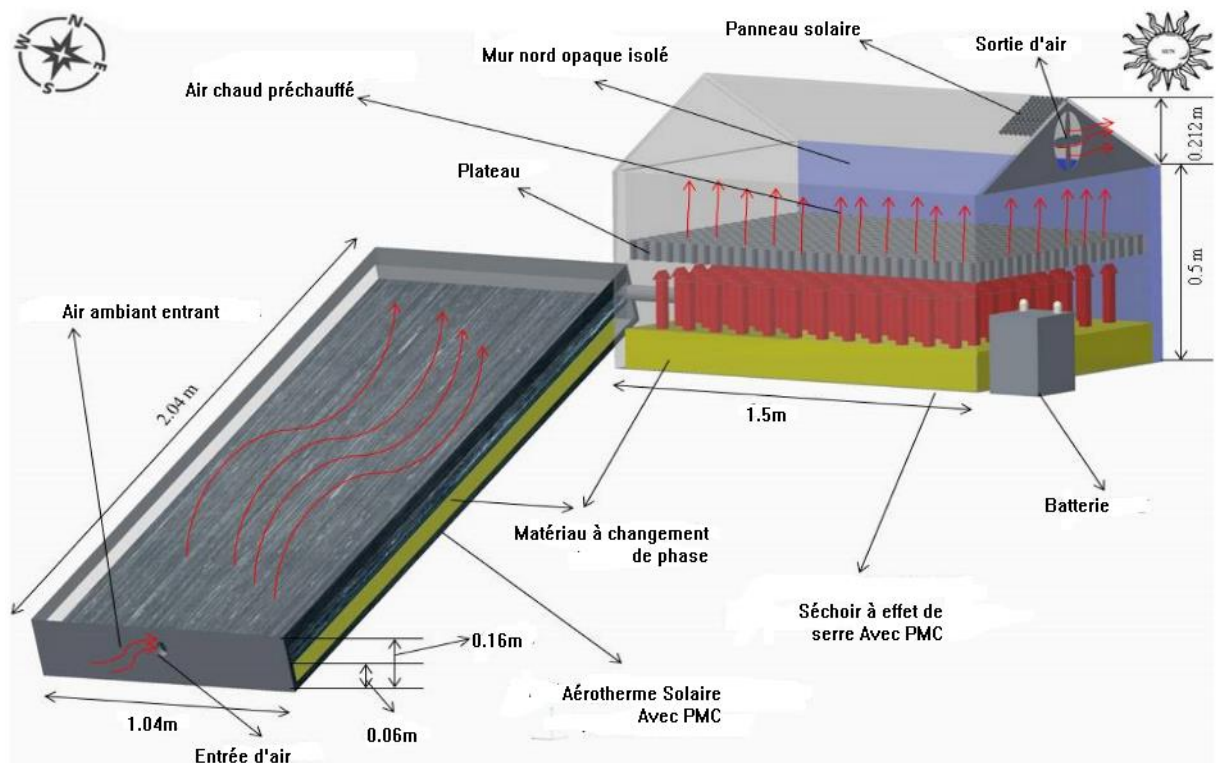


Figure II-18: Séchoir à serre hybride[31].

II.6. Développements et modifications mis en œuvre sur les séchoirs solaires à effet de serre issus de recherches antérieures.

1. Selon. Prakash et al, (2016).

Un séchoir à effet de serre modifié (SSM) ayant une paroi nord opaque et un stockage d'énergie thermique, fonctionnant en mode actif (AM) et en mode passif (PM) a été étudié. Le séchoir en mode actif s'est avéré plus efficace par rapport au mode de fonctionnement passif pour le séchage des cultures à forte teneur en humidité. Les deux séchoirs ont montré des performances similaires pour le séchage des cultures à teneur moyenne en humidité. La période de récupération, l'énergie grise, les émissions de CO_2 par an, la plage d'efficacité exergétique, la plage de facteur d'utilisation de la chaleur (HUF), la plage de coefficient de performances (COP) pour le séchoir à serre modifié en mode passif et en mode actif ont été calculés être de 1,11 an et 1,89 an, 480,277 kWh et 628,73 kWh, 13,45 kg et 17,6 kg, 29%–86% et 30%–78%, 0,12–0,38 et 0,26–0,53, 0,55–0,87 et 0,58–0,73 respectivement[32]

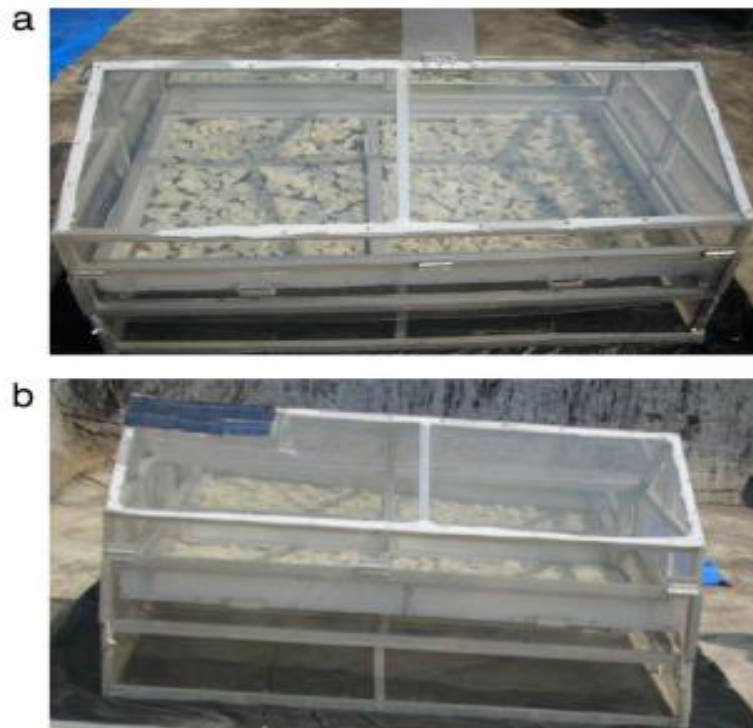


Figure II-19: Photographies pour le séchoir à serre modifié en mode passif (a) et en mode actif (b) pour le séchage des chips[32]

2. Selon. V. Saini, et.al. (2017),

Analyse de différentes technologies photovoltaïques (c-Si, p-Si, a-Si, CdTe et CIGS) intégrées à un séchoir solaire à effet de serre fonctionnant en mode convection forcée. Les résultats ont montré que le CIGS a les émissions de CO_2 les plus faibles et que le c-Si a les émissions de CO_2 les plus élevées (en kg), mais que l'atténuation nette de CO_2 (en tonnes) et les crédits carbone gagnés (en \$) sont les plus élevés pour la technologie c-Si. Si l'objectif principal est la production d'énergie, le c-Si semble être la meilleure option. La technologie PV CIGS est la meilleure pour les zones rurales où l'investissement initial est la principale préoccupation.[33]

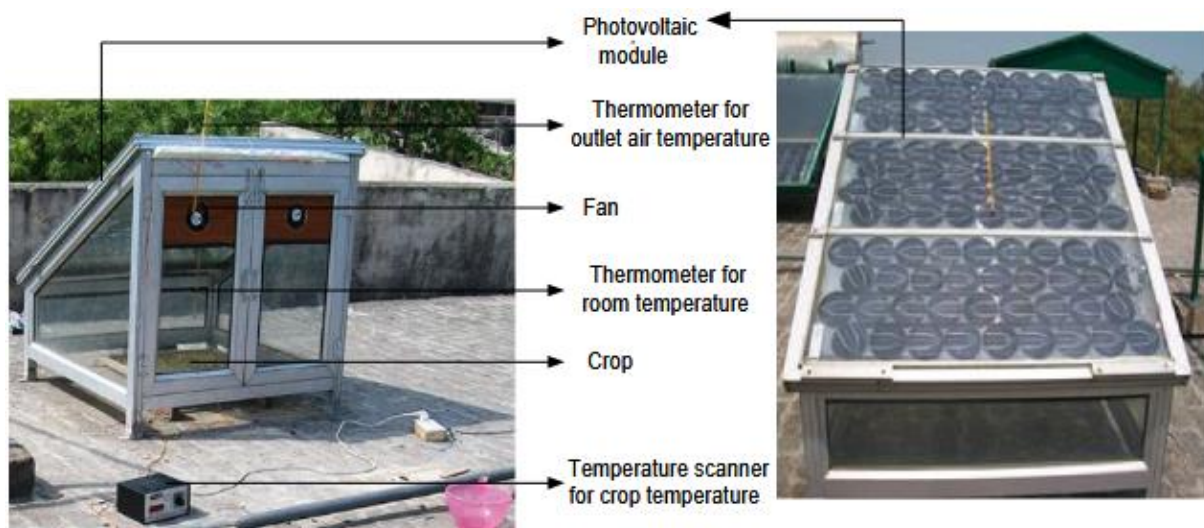


Figure II-20: Séchoir à serre intégré photovoltaïque[33].

3. Selon.P.S. et.al,(2018),

Un séchoir à serre à mur nord opaque et isolé avec un réchauffeur d'air solaire intégré a été évalué pour l'analyse énergétique. Le temps de récupération énergétique et l'atténuation nette du CO_2 se sont avérés être de 1,68 et 2,35 ans, 33,04 et 36,34 tonnes pour le séchoir en modes naturel et forcé respectivement. L'analyse énergétique du séchoir révèle que le séchoir à effet de serre développé s'est avéré économique et respectueux de l'environnement. Le séchoir était fortement recommandé pour le séchage des produits agricoles.[34]

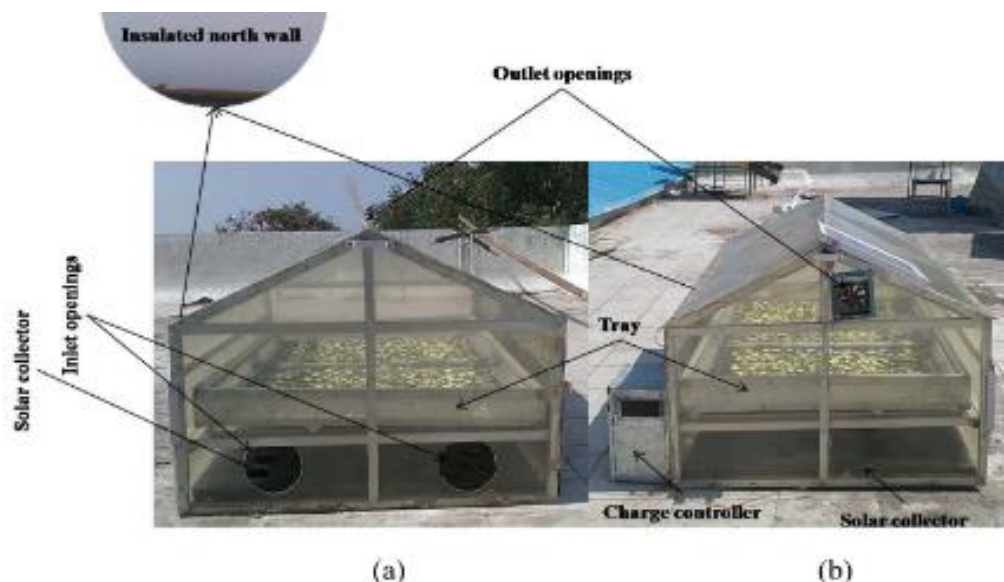


Figure II-21: Dispositif expérimental pour les flocons de courge amèreséchage en (a) mode naturel avec capteur solaire, (b)[34]



Figure II-22: *Dispositif expérimental pour les flocons de courge amères séchage soleil ouvert mode [34]*

4) Selon. A. EL khadraoui, et. al, (2019).

Un séchoir à serre en forme de chapelle intégré à un capteur d'air solaire à plaque plate a été analysé. Le séchoir présente un taux de séchage plus élevé par rapport au séchage au soleil ouvert et la période de séchage est également réduite de 7 heures. L'efficacité énergétique globale du séchoir solaire a été calculée à 34 %. La période de récupération a été calculée à 1,02, ce qui est très inférieur à la durée de vie estimée du sécheur.[35]



Figure II-23: *Photographie du séchoir solaire à effet de serre [35].*

5. Selon.P. Vengsungnle, et.al. (2020)

L'analyse des performances d'un séchoir solaire photovoltaïque à mode mixte ventilé avec contrôle automatique en boucle fermée a été réalisée. L'expérience a montré une amélioration des performances de séchage à l'aide d'un système de contrôle automatisé par rapport au séchage au soleil ouvert, mais l'investissement initial dans cette expérience est très élevé compte tenu de l'équipement électrique et de l'énergie nécessaire pour les faire fonctionner.[30]

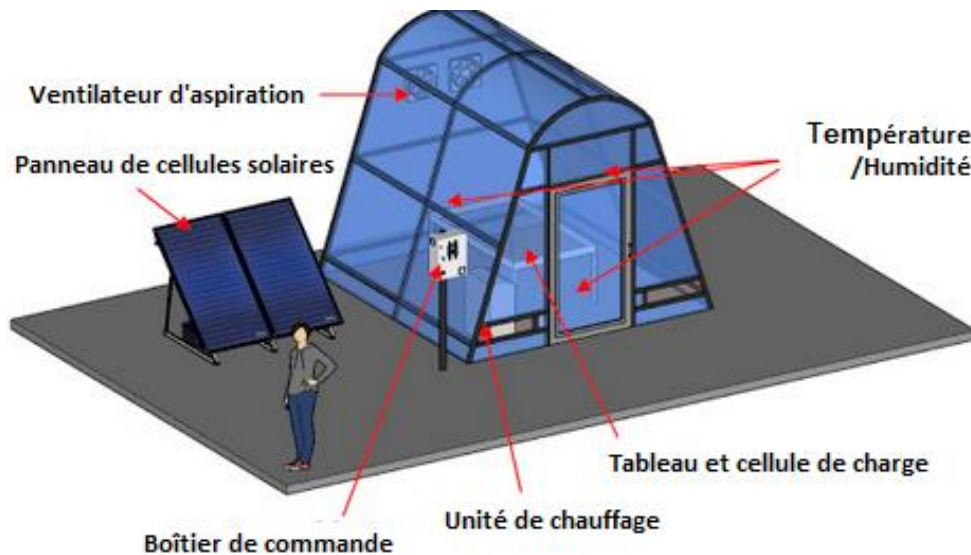


Figure II-24: *Vue imagée et diagramme de charge du séchoir solaire à serre ventilée photovoltaïque[30].*

6. Selon. Sehrawat, Ravin, et al. (2023)

Dans un séchoir à serre hybride modifié avec système de stockage d'énergie thermique, système photo thermique bidirectionnel (BIFPVT) et énergie thermique. Un moule chauffant a été enveloppé dans du papier d'aluminium (comme réflecteur) et placé sur le mur nord pour réduire la perte d'énergie. L'incorporation du PCM a rendu le système durable pour une utilisation pendant les heures de clarté car il stocke l'énergie thermique pendant la journée. Il a été observé que le système BIFPVT fournissait une puissance électrique de 2,0 à 85,5 W et de 0,6 à 81 W par rapport à l'intensité du rayonnement solaire sur la face avant et la face arrière du BIFPVT allant de 34 à 950 W./m² et 13-350 W/m², respectivement. La température de la salle de séchage s'est avérée supérieure de 16 à 44 % à la température ambiante pour les deux jours.[36]

7. LAOUINI et al, ont développé un séchoir solaire indirect pour les produits agroalimentaires de la région d'El-Oued, située au sud-est de l'Algérie. Ce séchoir est équipé d'un concentrateur à réflecteur parabolique qui améliore ses performances en augmentant la température et en réduisant le temps de séchage. L'efficacité de ce séchoir solaire a été testée sur des piments rouges en avril 2018. Les résultats ont montré que la température à l'intérieur de la chambre de séchage a atteint jusqu'à 55 °C, permettant un temps de séchage de 5 heure.[37]

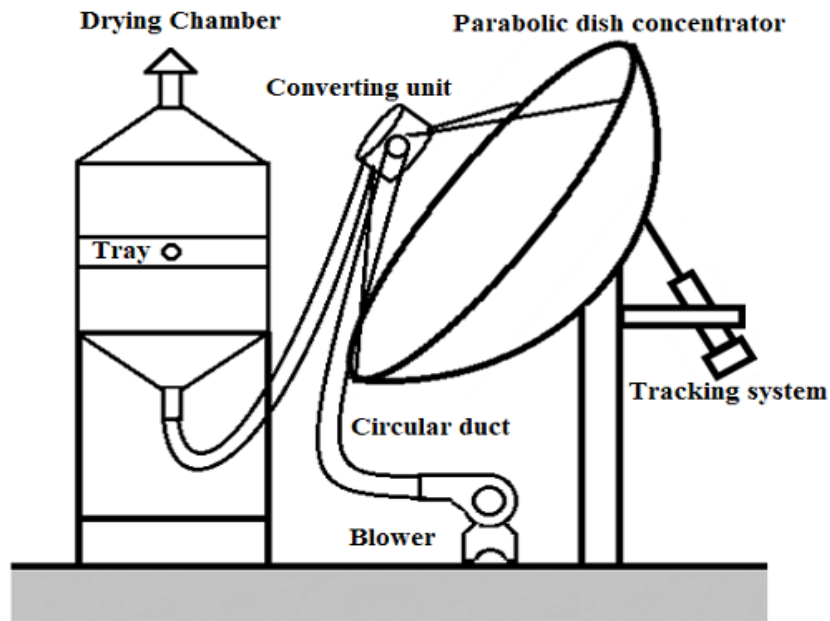


Figure II-25: Séchoir réalisée par LAOUINI et al[37]

II.7. Séchoir réalise

Il s'agit d'un séchoir de type serre à convection forcée qui a été réalisé par l'Université Hama Lakhdar d'El-Oued selon les dimensions suivantes :

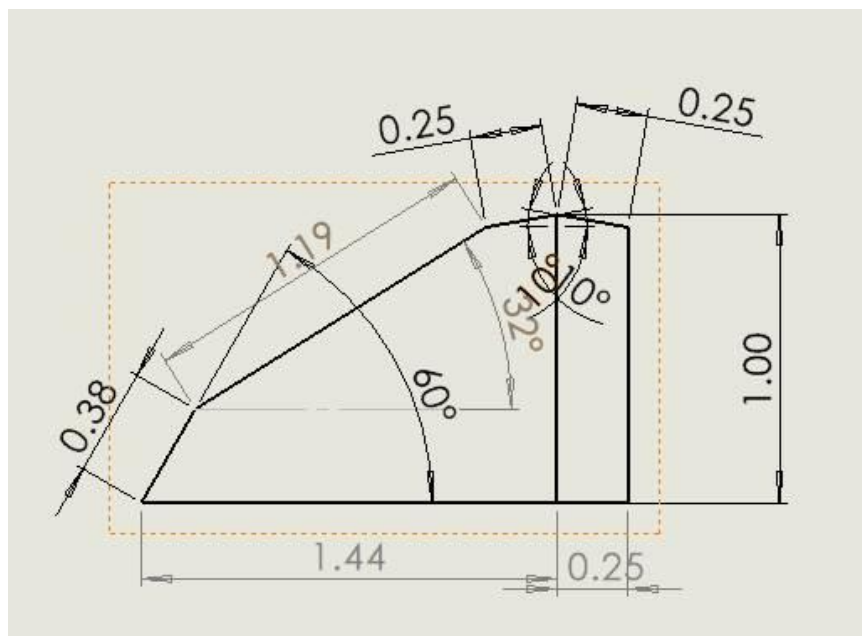


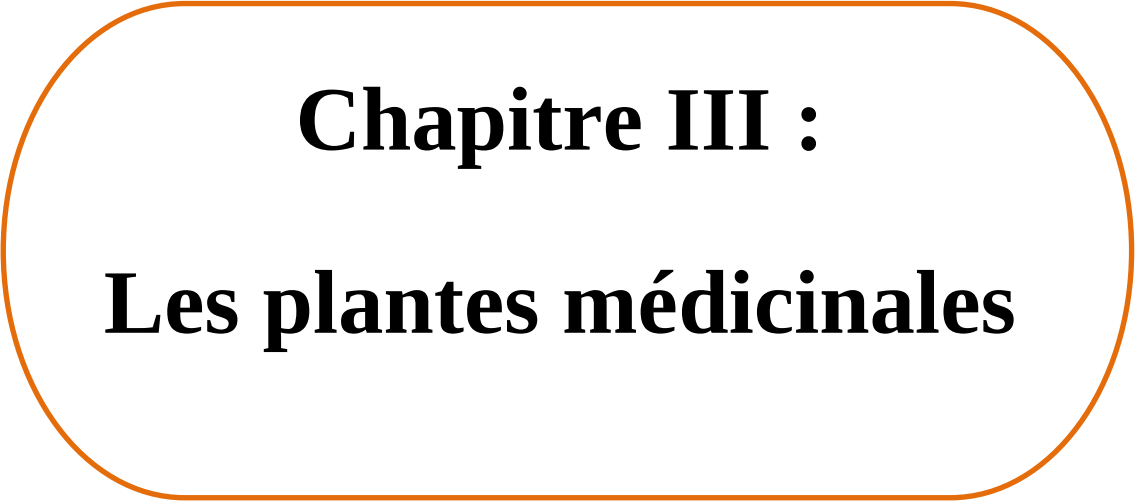
Figure II-26: Dimensions du séchoir réalise



Figure II-27: *Vues de différents côtés du séchoir réalisé*

II.8. Conclusion

Au cours de ce chapitre, nous avons parlé des capteurs solaires et de leurs différents types. Nous avons également abordé les séchoirs solaires, nous avons donc répertorié leurs composants et leurs types. Nous avons également consacré l'exposé aux séchoirs à effet de serre, nous avons donc mentionné leurs types et donné des résultats d'études à leur sujet. Depuis deux ans sur la base de la performance, de l'impact environnemental et de la faisabilité économique, étayant tous ces points par des images illustratives.



Chapitre III :

Les plantes médicinales

III. Chapitre III : Les plantes médicina

III.1. Introduction

Les plantes médicinales sont utilisées depuis des siècles comme remède naturel pour soigner et prévenir divers maux et maladies. Ces plantes contiennent des composés bioactifs qui ont des propriétés pharmacologiques et peuvent être utilisées pour traiter un large éventail de maladies. L'utilisation des plantes médicinales remonte aux civilisations anciennes, où elles étaient utilisées comme principale forme de médecine. Aujourd'hui, les plantes médicinales sont encore largement utilisées dans de nombreuses cultures et sont reconnues comme une ressource importante pour la médecine moderne. Ces dernières années, il y a eu un intérêt croissant pour l'utilisation de remèdes naturels, et le potentiel des plantes médicinales pour la découverte et le développement de médicaments a attiré l'attention de la communauté scientifique. L'étude des plantes médicinales, de leurs composés actifs et de leurs utilisations thérapeutiques potentielles est un domaine de recherche passionnant et en pleine croissance qui est prometteur pour le développement de médicaments nouveaux et efficaces. Dans ce chapitre, nous présenterons un groupe de plantes médicinales

III.2. La menthe

III.2.1. Définition

C'est un genre de plantes qui suit la famille des Lamiacée de l'ordre des Lamiacée, et comprend entre 42 espèces acceptées et des dizaines d'espèces incertaines. Les hybridations entre espèces se produisent naturellement. Les plantes de ce genre sont des plantes herbacées vivaces à l'arôme piquant et agréable.

Il est répandu presque dans le monde entier sur le continent européen, en Afrique, en Asie, en Australie et en Amérique du Nord. C'est une plante vivace et rarement une plante vivace, et ses tiges s'étendent largement sous et autour du sol. Ses pattes sont carrées, fourchues et dressées.

Les feuilles sont disposées par paires opposées et leur forme varie de carrée à lancéolée, elles sont souvent lisses au toucher, avec des bords dentelés. Les feuilles varient en couleur du vert foncé et vert gris au violet, bleu et parfois jaune clair. Et ses fleurs sont blanches à violet.

III.2.2. Les types de la menthe

- **Menthe poivrée**

La plupart des menthes est originaire de l'Europe et de l'Asie. On trouve quelques espèces en Amérique, en Afrique du sud et en Australie. La menthe poivrée, est originaire de l'Angleterre. Actuellement elle est cultivée sur des grandes et des petites superficies.

Historique : Dans la mythologie grecque, « Minthe » a déjà été une nymphe qui a été adorée par Pluton, mais elle a été transformée par sa femme jalouse en plant de menthe.

Les Grecs du temps de Périclès en font un parfum ; les herbes également, d'où les reproches que Jésus adresse aux scribes et pharisiens pour s'en procurer et négligeaient la justice et la miséricorde. Les Grecs interdisaient à leurs soldats de manger de la menthe car, elle incite à l'amour et diminue le courage[38].



Figure III-1: Menthe poivrée[39]

- **La menthe pouliot**

C'est une plante qui pousse à l'état sauvage dans le sud de l'Europe. En France, cette espèce est largement cultivée. Morphologie : C'est une plante vivace qui présente une tige principale terminée par trois ou quatre bifurcations et qui peut atteindre une hauteur de 40 à 90 cm. Ses feuilles sont ovales et duveteuses. Ses fleurs bleu lavande ou rose poussent en épis terminaux de 15 à 30 cm.[38]

La menthe Pouliot est souvent utilisée pour traiter les problèmes des : Troublés gastro-intestinaux ; Dyspepsie ; Flatulence ; Constipatio ; Maux de tête ; Comme stimulant de l'appétit et de la digestion.



Figure III-2:*La menthe pouliot*[39]

- **La menthe verte ou douce**

Elle est connue depuis longtemps dans les pays arabes et dans tout le monde. Morphologie : La menthe douce est caractérisée par sa couleur verte différente des autres espèces de menthe. De forme allongée, lancéolée ses feuilles sont d'un vert printanier, profondément nervurées, avec des nervures très rapprochées. Sa tige verticale centrale peut atteindre 30 à 60 cm de hauteur. A l'extrémité de chaque pédoncule glabre fleurit un long épi portant des minuscules fleurs blanches teintées de mauve ou de rose.[38]



Figure III-3:*La menthe verte*[39]

- Menthe des champs (*Mentha arvensis*)
- Menthe aquatique (*Mentha aquatica*)
- Menthe sylvestre ou menthe à feuilles longues (*Mentha longifolia*)
- Menthe citronnée ou menthe bergamote (*Mentha citrata*)
- Menthe odorante ou menthe à feuilles rondes (*Mentha suaveolens*)
- Menthe de Corse (*Mentha requienii*)
- Menthe cervine (*Mentha cervina*)
- Menthe marocaine (*Mentha spicata* var. *crispa*)
- Menthe banane (*Mentha arvensis* Banana)

III.3. Safran

III.3.1. Définition

Le safran, est une plante vivace appartenant à la famille des iridacées (Figure 1). Dons elle contient des étamines jaunes ainsi que trois longs stigmates rouges centraliser dans une fleur mauve bleuté. Sa valeur est due de leur stigmates séchés, produisent une épice remarquable d'une grande valeur commerciale C'est une plante à multiplication végétative par bulbes (cormes) [40]



Figure III-4: Composants de la plante de safran ((1) Corme, (2) Fleur (3) Safran)

III.3.2. Classification systématique

Selon la classification botanique de Cronquist de 1981, qui est basée sur des critères anatomiques, morphologiques et chimiques dans le but de différencier les angiospermes *Crocus sativus* L.[40] tableau(III-1)

Tableau III-1: *Classification systématique de safran*[40]

Règne	Végétal
Embranchement	Spermatophyte
Sous-embranchement	Angiospermes (Magnoliophyta)
Classe	Monocotylédones (Liliopsida)
Sous-classe	Liliidae
Ordre	Liliales
Famille	Iridaceae
Sous-famille	Crocoïdeae
Genre	Crocus
Espèce	Crocus sativus

III.3.3. Composition chimique

Les stigmates du safran contiennent principalement des caroténoïdes hétérosides, notamment la crocine (ester de crocétine) qui est responsable du puissant pouvoir colorant du safran. Il contient également d'autres caroténoïdes comme l'alpha et le bêta-carotène, la zéaxanthine et le lycopène. À partir du principe amer picrocrocine,

on obtient pendant le séchage de l'épice, le safranal, le principal composant de l'huile essentielle de safran qui lui donne son arôme caractéristique [41]

III.4. Le persil

III.4.1. Définition

Le persil (*Petroselinum crispum*) appartient à la famille des Apiacées (syn. Umbellifères). De nombreuses espèces de cette famille sont utilisées depuis longtemps comme plantes médicinales et aromatiques ainsi que pour les légumes.

Le nom du genre *Petroselinum* est dérivé du mot grec *petra* (Πέτρα) pour roche ou pierre et du mot latin *selinum* pour les plantes poussant sur un sol pierreux. Le nom de l'espèce *crispum* vient du latin *crispus* et signifie enrouler.[42]



Figure III-5: *parsley*

III.4.2. Classification systématique

Le tableau (III-2) montre la classification systématique

Tableau III-2: *la classification systématique de Le persil*[40]

Règne	Plantae
Sous-Règne	Tracheobionta
Division	Magnoliophyta
Classe	Magnoliopsida
Sous-classe	Rosidae
Ordre	Apiales
Famille	Apiaceae
Genre	<i>Petroselinum</i>
Espèce	<i>Petroselinum crispum</i>

III.5. Rosmarinus

Le nom latin *rosmarinus* est habituellement interprété, comme dérivé "ros" de la rosée et "marinus" d'appartenir à la mer, bien qu'elle se développe habituellement loin de la mer. On a affirmé que cette interprétation est un produit d'étymologie traditionnelle, mais probablement le nom original est dérivé du grec "rhops" arbuste et "myron" baume[43] .



Figure III-6: *rosmarinus*

III.5.1. Classification systématique

Tableau III-3: Classification systématique de *Rosmarinus*[43]

Règne	Plantae
Division	Magnoliopota
Classe	Magnoliopsida
Ordre	Lamiales
Famille	Lamiaceae
Genre	<i>Rosmarinus</i>
Espèce	<i>Rosmarinus officinalis</i>
Nom Arabe	Iklil Al Jabal Romarin
Nom Français	Romarin

III.5.2. Description botanique

Le romarin est un arbrisseau de la famille des labiées, peut atteindre jusqu'à 1,5 mètre de hauteur, il est facilement reconnaissable en toute saison à ses feuilles persistantes sans

pétiole, coriaces beaucoup plus longues que larges, aux bords légèrement enroulés, vert sombre luisant sur le dessus, blanchâtres en dessous. La floraison commence dès le mois de Février, ou Janvier parfois, et se poursuit jusqu'au mois d'Avril et Mai. La couleur des fleurs varie du bleupâle au violet (on trouve plus rarement la variété à fleurs blanches *R. officinalis albiflorus*). Le calice velu à dents bordées de blanc, elles portent deux étamines ayant une petite dent vers leur base. Comme pour la plupart des Lamiacées, le fruit est un tétrakène, de couleur brune, la variété à fleurs blanches est rare *R. officinalis albiflorus*. Le calice velu à dents bordées de blanc, elles portent deux étamines ayant une petite dent vers leur base. Comme pour la plupart des Lamiacées, le fruit est un tétrakène[44]

III.6. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté quelques plantes médicinales et mentionné l'origine de leur nom, les types et les classifications systématique.

Chapitre IV :

Résultats et discussion

IV. Chapitre IV : Résultats et discussion

IV.1. Introduction

Le séchoir serre est l'un des systèmes les plus récents du secteur des séchoirs solaires, qui rentre dans le groupe des séchoirs directs et portés dont le principe repose parfois sur le piégeage du rayonnement solaire à ondes courtes. En appliquant une série de modifications à la structure de la serre, celle-ci peut être utilisée pour sécher des produits agricoles à basse température. Dans ce chapitre, nous allons parler de menthe sèche, qui est un médicament

IV.2. Description et fonctionnement du séchoir solaire

Le sèche-mains d'occasion est un séchoir de type serre à séchage direct doté d'un ventilateur électrique à circulation d'air forcé installé sur la paroi latérale du séchoir à l'opposé de l'entrée d'air.



Figure IV-1: *Vue intérieure de la sécheuse montrant l'entrée d'air et la position du ventilateur*

IV.3. Instrumentation de mesure

IV.3.1. Mesure des températures

Nous avons utilisé "Température Recorder BTM-4208SD" Il s'agit d'un enregistreur de température à 12 canaux et il utilise une carte SD pour enregistrer des données avec des informations temporelles (année, mois, date, minute, seconde) dans la mémoire SD.

Il peut être téléchargé sur Excel, aucun supplément n'est nécessaire. L'utilisateur peut effectuer lui-même d'autres analyses de données ou graphiques. Il dispose d'un capteur thermocouple de type K.



Figure IV-2: *appareil de mesure de la température" BTM-4208SD"*

IV.3.2. Mesure de la vitesse et de l'humidité de l'air

Afin de mesurer la vitesse de l'air sortant du séchoir, nous avons utilisé un appareil Anémomètre " AM-4206M



Figure IV-3: *"Lutron AM-4206 "Anemometer"*

IV.1. Produit utilisé

Nous avons utilisé des feuilles de menthe



Figure IV-4: *Feuilles de menthe verte à l'intérieur du séchoir*

IV.1.1. Compteur d'intensité de rayonnement

Afin de suivre l'intensité du rayonnement tombant sur le séchoir, nous avons utilisé un appareil pyranomètre PYR1307 mesure la puissance du rayonnement solaire en watts par m²: W/m².

- Calibres : 199,9 W/m² et 1999 W/m²
- Erreur de mesure : < 10W/m² ou 5% de la lecture



Figure IV-5: *pyranomètre "PYR1307"*

IV.1.2. mesure de masse

Le suivi de la masse au cours de séchage est effectué par pesée sur une balance de électrique



Figure IV-6: balance de électrique

IV.2. Résultats et discussion

Après avoir placé l'échantillon dans le dessiccateur et l'avoir pesé toutes les demi-heures, nous enregistrons les résultats et traçons les courbes

Tableau IV-1: Valeurs enregistrées pendant le processus de séchage

Humidité ¹ %		Vitesse de l'air [m/s]	Vitesse du vent [m/s]	Température In [°C]	radiation ¹ $\left[\frac{w}{m^2}\right]$	Le poids [g]		Temps	Température Ex [°C]
In	Ex					Ex	In		
10	23	2	1.03	70	680	16.76	15.65	13:50	30
10	23	2	1.23	56	653	13.88	13.09	14 :05	35.04
10	24	2	0	52.8	620	13.04	12.22	14 :20	32.07
10	23	2	0.25	52.9	598	12.19	11.42	14 :35	31
10	23	2	0.4	52.1	554	10.86	10.02	15 :05	29.5
10	23	2	0.36	51.1	490	9.04	9.66	15 :35	29.4
19	24	2	0.70	47.9	333	8.55	8.28	16 :35	29.8
16	17	2	0.24	40.1	56	7.95	7.90	17:35	29.9



Figure IV-7 *Menthe en fin de séchage*

- On remarque à travers la figure(IV-7)que la menthe a changé de couleur du vert au marron après la fin du séchage

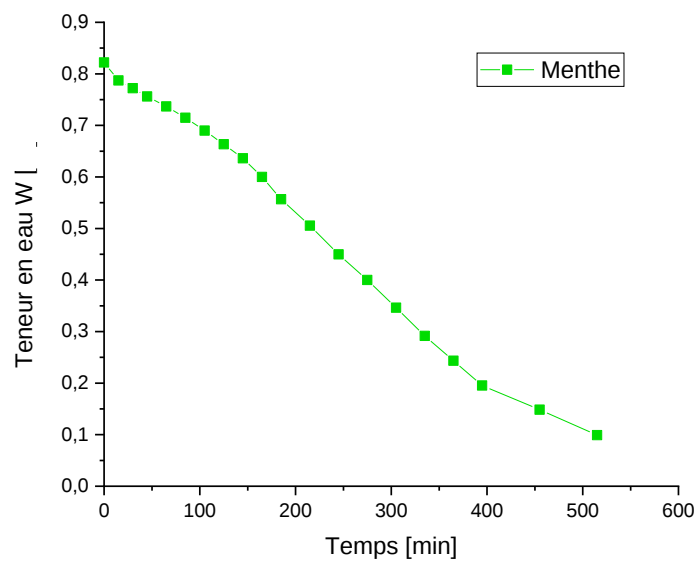


Figure IV-8: *Menthe a séchage naturel*

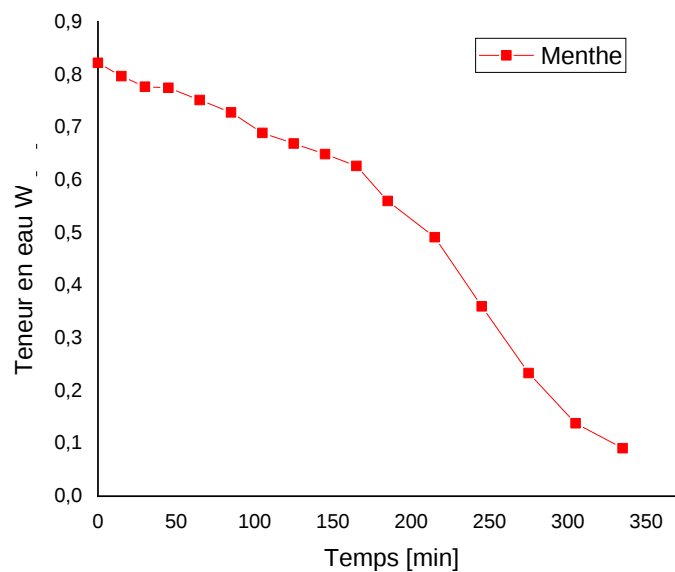


Figure IV-9: *Menthe a base de séchoir*

IV.2.1. Observation

Les figure (IV-8) et (IV-9) montrent la courbe de teneur en eau en fonction du temps. On note que le temps mis pour atteindre la valeur de la teneur en eau :

- De 0,85 à 0,50 pour cent environ 220 minutes dans un séchoir naturel et 200 minutes dans un séchoir à effet de serre.
- De 0,50 % à 0,10 %, il faut environ 510 minutes pour le séchage naturel et 340 minutes pour le séchoir à effet de serre, c'est-à-dire que le temps nécessaire pour sécher 16,76 grammes de menthe à 7,90 grammes est de 5,7 heures dans un séchoir à effet de serre et de 8,5 heures. Dans un séchoir naturel.

Nous concluons, grâce à l'analyse des courbes, que le processus de séchage naturel de la menthe prend plus de temps que le séchage dans un séchoir à effet de serre.

V. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons expérimenté le séchoir incorporé, dans lequel nous avons séché des feuilles de menthe verte, et comparé les résultats de séchage avec des feuilles de menthe séchées naturellement, il s'agissait donc d'un processus de séchage naturel plus lent que le processus de séchage par un séchoir de type serre.

Conclusion générale

Conclusion générale

Le séchage naturel est une méthode connue de l'homme depuis l'Antiquité pour conserver les produits alimentaires, la viande et les plantes médicinales, car il présente des inconvénients, notamment sa vulnérabilité aux facteurs naturels polluants, et cela réduit sa durée, en plus du temps passé pendant le processus de séchage., alors l'homme a travaillé pour développer des séchoirs qui améliorent la qualité des produits séchés.

Ce travail travaille sur l'un des types de séchoirs, qui sont les séchoirs à serre, où les résultats de la comparaison du séchage de la menthe verte de manière naturelle avec des feuilles de menthe séchées dans un séchoir à serre étaient les suivants

Le temps nécessaire pour sécher 17,75 grammes de feuilles de menthe verte un jour où le rayonnement solaire moyen est de $498 \frac{W}{m^2}$ a été déterminé est de 5,7 heures dans un séchoir à effet de serre et de 8,5 heures dans un séchoir naturel.

Le séchoir de type serre est une méthode efficace qui accélère le processus de séchage et maintient l'intégrité du produit contre les facteurs naturels qui peuvent affecter la sécurité du produit.

Références

Références

1. بروكش, et al., *Etude expérimentale comparative entre les deux séchoirs solaires parabolique et cylindro-parabolique*. 2019.
2. Ahmad, A., Prakash, O., Kumar, A., Chatterjee, R., Sharma, S., Kumar, V., Kulshreshtha, K., Li, C., & Eldin, E.M.T. , *greenhouse Drying System*. . Encyclopedia, 2023, January 30.
3. Belessiotis, V. and E. Delyannis, *Solar drying*. Solar Energy, 2011. **85**(8): p. 1665-1691.
4. Dilip M. Parikh, D.G.I. *Solids Drying: Basics and Applications*. 2014.
5. Khaldi, S., *Etude numérique du comportement thermique d'un séchoir solaire utilisant un lit thermique pour le stockage d'énergie*. 2018, Bourgogne Franche-Comté.
6. Abdi, T. and H. Direm, *Etude comparative du séchage par microonde et à l'étuve des petits pois de Jijel*. 2019, Université de Jijel.
7. TOULEMONDE, M., *La Lyophilisation*. 2009.
8. Touati, B., *Modélisation numérique des transferts couplés de chaleur et de masse lors du séchage des feuilles de menthe*. Mémoire de Magistère, Centre Universitaire de Bechar, Algérie, 2001.
9. Ramya, V. and N. Jain, *A review on osmotic dehydration of fruits and vegetables: An integrated approach*. Journal of Food Process Engineering, 2017. **40**(3): p. e12440.
10. Mennouche, D., *Valorisation des produits agro-alimentaires et des plantes médicinales par les procédés de séchage solaire*. 2006.
11. Mimoune, M., *Étude des capteurs photovoltaïques basés sur les nanotechnologies*. 2016, Université du Québec à Trois-Rivières.
12. Abd Setar, S.M. and T.M. El Amine, *Étude des panneaux solaires photovoltaïques*. 2021.
13. *Le photovoltaïque, comment ça marche ?* 27.05.2023; Available from: <https://home-log.fr/installation-photovoltaïque/comment-ca-marche/>.
14. *Cellules solaires en silicium monocristallin*. 2023; Available from: https://www.pngegg.com/fr/png-eyxk#google_vignette.
15. 27.05.2023; Available from: <https://www.freepng.fr/png-58ipvw/>.
16. Kamelia, H., *Modélisation d'une cellule photovoltaïque: Etude comparative*. Mémoire de Magistère, UMMTO, 2012.
17. Achour, O. and A. Boutchicha, *Etude thermique d'un capteur photovoltaïque*. 2021, university of M'sila.
18. team, e. *Cellule photovoltaïque organique : angevine et envisageable*. 10 décembre 2013
19. Selvakumar, N., H. Barshilia, and K. Rajam, *Review of sputter deposited mid-to high-temperature solar selective coatings for flat plate/evacuated tube collectors and solar thermal power generation applications*. NAL Project Document SE, 2010. **1025**.

20. Nouah, N., N. Djennaoui, and T. Hassani, *Modélisation d'un capteur solaire cylindro-parabolique*. Journal of Renewable Energies, 2014. **17**(4): p. 559–567.
21. 28.05.2023 [cited 9.04.2015; Available from: http://fr.solarpedia.net/wiki/index.php?title=Fichier:Systemes_concentration.png.
22. *Capteur solaire plan*. 20 janvier 2015 Available from: http://fr.solarpedia.net/wiki/index.php?title=Capteur_solaire_plan.
23. Planas, O. *Capteur solaires thermique à tubes sous vide*. 13 octobre 2021; Available from: <https://lenergie-solaire.net/energie-solaire-thermique/composants/capteurs-solaires-thermiques/capteur-tubes-sous-vide>.
24. freepng. *Capteur Solaire Thermique*. 28.05.2023; Available from: <https://www.freepng.fr/png-vxxubt/>.
25. Kamarulzaman, A., M. Hasanuzzaman, and N. Rahim, *Global advancement of solar drying technologies and its future prospects: A review*. Solar Energy, 2021. **221**: p. 559-582.
26. Hamadi, A., Z. Hamzaoui, and A. MEDIANI, *L'étude De Séchage Solaire d'une Plante Médicinale De La Région D'Adrar*. 2021, UNIVERSITE AHMED DRAIA-ADRAR.
27. Sharma, A., C. Chen, and N.V. Lan, *Solar-energy drying systems: A review*. Renewable and sustainable energy reviews, 2009. **13**(6-7): p. 1185-1210.
28. reynes, A.T.e.M., *Le séchage solaire à petite échelle des fruits et légumes*, in Dudez. 1996: nzdl.
29. DJEBLI, A. and S. HANINI, *Etude numérique et expérimentale d'un séchoir solaire mixte. Application au séchage des produits alimentaires*. 2019.
30. Vengsungnle, P., et al., *Thermal performance of the photovoltaic–ventilated mixed mode greenhouse solar dryer with automatic closed loop control for Ganoderma drying*. Case Studies in Thermal Engineering, 2020. **21**: p. 100659.
31. Ahmad, A., Prakash, O., Kumar, A., Chatterjee, R., Sharma, S., Kumar, V., Kulshreshtha, K., Li, C., & Eldin, E.M.T. and Greenhouse Drying System. In *Encyclopedia*. . Encyclopedia, 2023, January 30.
32. Prakash, O., A. Kumar, and V. Laguri, *Performance of modified greenhouse dryer with thermal energy storage*. Energy reports, 2016. **2**: p. 155-162.
33. Saini, V., S. Tiwari, and G. Tiwari, *Environ economic analysis of various types of photovoltaic technologies integrated with greenhouse solar drying system*. Journal of Cleaner Production, 2017. **156**: p. 30-40.
34. Chauhan, P.S., A. Kumar, and C. Nuntadusit, *Thermo-environomical and drying kinetics of bitter gourd flakes drying under north wall insulated greenhouse dryer*. Solar Energy, 2018. **162**: p. 205-216.
35. Aymen, E., et al., *Drying of red pepper slices in a solar greenhouse dryer and under open sun: Experimental and mathematical investigations*. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2019. **52**: p. 262-270.
36. Sehrawat, R., et al., *Experimentation and optimization of phase change material integrated passive bifacial photovoltaic thermal greenhouse dryer*. Solar Energy, 2023. **257**: p. 45-57.

37. Laouini, A., et al. *Realization of a Solar Dryer Assisted by a Parabolic Dish Concentrator*. in *Defect and Diffusion Forum*. 2021. Trans Tech Publ.
38. BELLAGI, A., Ayadi Mourad, in *Génie Energétique*. 2015, MONASTIR.
39. Aranda, M. *Menthes sauvages*. Menthes sauvages 23.05.2023.
40. Halil, K.N. and F. Guebli, *Etude technico-culturelle de safran crocus sativus L. dans la région de hamadia, tiaret*. 2021.
41. ; Available from: <https://docplayer.fr/43762940-Safranculture-du-safran.html>.
42. Marthe, F., *Petroselinum crispum (Mill.) Nyman (Parsley)*. 2020. p. 435-466.
43. BELLOUL, K. and M. CHOUIREF, *Etude de l'activité antioxydante d'une plante médicinale (le romarin)*. 2016.
44. Zeghad, N., *Etude du contenu polyphénolique de deux plantes médicinales d'intérêt économique (Thymus vulgaris, Rosmarinus officinalis) et évaluation de leur activité antibactérienne*. Constantine: université Mentouri, 2009.