

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE**

UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

**FACULTE DES SCIENCES
DEPARTEMENT DE PHYSIQUE
N° : Ph/ENR/16/2021**



**FILIERE : PHYSIQUE
OPTION : ENERGIE ET ENERGIES
RENOUVELABLES**

**Mémoire présenté pour l'obtention
du diplôme de Master Académique**

Par: KAOUKI Nasr Eddine & TOUAMA Abdelmalek

Intitulé

**Etude expérimentale d'un séchoir
solaire à effet de serre**





Soutenu le 25/06/2021 devant le jury composé de:

HADDAD Zakaria	Université Mohamed BOUDIAF	Président
NAHOUI Azzedine	Université Mohamed BOUDIAF	Rapporteur
MAHDI Khaled	Université Mohamed BOUDIAF	Examineur

Année universitaire : 2020/2021

Dédicaces

Je dédie ce travail :

-  *A mon cher père et ma chère mère.*
-  *A mes chers frères et sœurs.*
-  *A toute ma famille KAWKI.*
-  *A tous qui veillent pour que ce pays puisse avancer.*

KAWKI Nasr Eddine

Dédicace

Je dédie ce travail à :

À mon très cher père qui m'a tout appris, pour toutes les peines et les Sacrifices qu'il s'est donné pour me voir réussir dans la vie.

À ceux qui m'ont enseigné la patience afin de réaliser le désir, à qui les invitations ont ouvert mes horizons et ont facilité mes chemins a ma mère l'amour de mon cœur.

À ma chère tante et son mari Abbes.

À mon grand frère walid , sa femme et sa fille Nardjes

À mon frère Ammar.

À mes sœurs Yassmine et Nadjah.

À mes deux arrière grand-mères zohra et ledmia.

À Mes chers amis que j'aime beaucoup et qui m'ont soutenu tout au long de ce mémoire.

Abdelmalek

Remerciements

Nous remercions tout d'abord Dieu, de nous avoir donné le courage d'aller jusqu'au bout pour que nos efforts soient fructueux, malgré cette période de covid 19 et conséquences sur nos personnes et sur notre entourage.

Nous remercions M^r **NAHOUI Azzedine**, Enseignant l'université Mohamed BOUDIAF Msila, qui m'a proposé ce sujet et qui a su nous amener pédagogiquement jusqu'à la fin de réalisation de ce mémoire.

Nous remercions M^r **HADDAD Zakaria**, Enseignant l'université Mohamed BOUDIAF Msila , qui a accepté de présider le jury de ma soutenance, et qu'il trouve ici l'expression de nos respects.

Nous remercions M^r, **MAHDI Khaled** Enseignant, l'université Mohamed BOUDIAF Msila, et qui a accepté d'être membre de jury, qu'il trouve ici l'expression de nos respects.

Merci à tous

Liste des figures

Figure I.1	Courbe de séchage $M = f(t)$	.....	12
Figure I.2	Courbe de séchage $-dM/dt = f(t)$	.....	13
Figure I.3	Courbe de séchage $-dM/dt = f(M)$	.....	13
Figure I.4	Air se développe pendant le processus de séchage	.....	21
Figure I.5	Volume de contrôle microscopique	.....	24
Figure I.6	Volume de contrôle macroscopique	.....	24
Figure I.7	Différents types d'eau dans le matériau	.....	26
Figure II.1	Structure du soleil	.....	38
Figure II.2	Plan de l'écliptique, l'orbite terrestre et les saisons	.....	39
Figure II.3	Séchoir solaire coffre	.....	41
Figure II.4	Séchoir solaire intégral	.....	42
Figure II.5	Séchoir solaire cabane	.....	43
Figure II.6	Séchoir solaire indirect	.....	44
Figure II.7	Séchoir solaire armoire	.....	44
Figure II.8	Séchoir solaire à convection forcée	.....	45
Figure II.9	Séchoir solaire hybride solaire-gaz	.....	46
Figure II.10	Séchoir solaire à circulation naturelle-type 1	.....	47
Figure II.11	Séchoir solaire à circulation naturelle-type 2	.....	47
Figure II.12	Capteur plan	.....	48
Figure II.13	Concentrateur cylindro-parabolique	.....	49
Figure II.14	Concentrateur parabolique	.....	49
Figure II.15	Système de centrale à tour	.....	50
Figure II.16	Comparaison de deux systèmes de stockage, latent et sensible	.....	50
Figure III.1	Capteur solaire	.....	54
Figure III.2	Chambre de séchage	.....	55
Figure III.3	Conduite de liaison	.....	55
Figure III.4	Thermomètres	.....	56
Figure III.5	Thermo-hygromètre	.....	56
Figure III.6a	Pesée avant séchage	.....	56
Figure III.7b	Pesée après séchage	.....	57
Figure IV.1	Irradiation solaire	.....	59
Figure IV.2	Température ambiante	.....	60
Figure IV.3	Irradiation solaire.60	.....	60
Figure IV.4	Humidité relative hors séchoir	.....	61
Figure IV.5	Température à l'entrée du capteur	.....	61
Figure IV.6	Température à l'entrée du capteur	.....	62
Figure IV.7	Température de l'absorbeur	.....	62
Figure IV.8	Température de la chambre de séchage	.....	63
Figure IV.9	Humidité relative dans la chambre de séchage	.....	63

Liste des tableaux

Tableau I.1	Différents modèles de cinétique du séchage	16
Tableau I.2	Avantages et inconvénients du séchage solaire et à l'air libre	28
Tableau II.1	Caractéristiques principales du soleil	37
Tableau II.2	Comparaison des différents types de stockage en fonction de densité énergétique	53

Sommaire

Dédicaces	.....	i
Remerciements	.....	ii
Liste des figures	.....	iii
Liste des tableaux	.....	iv
Sommaire	.....	v
Introduction	.....	1
Chapitre I	Généralités sur le séchage solaire	2
1.	Définition	2
2.	Historique	2
3.	Théories descriptives du phénomène de séchage	3
3.1.	Théorie de la diffusion du liquide, modèle de Sherwood	3
3.2.	Théorie de LUIKOV	3
3.3.	Théorie de capillaire	3
3.4.	Théorie de KRIS CHER-BERGER et PEI	4
3.5.	Théorie de PHILIP et DE VRIES	4
3.6.	Théorie WHITAKER	4
4.	Terminologie de séchage	4
4.1.	Humidité	4
4.2.	Taux d'humidité	4
4.3.	États de siccité	5
4.4.	Taux d'humidité	5
4.5.	Corps hygroscopique	5
5.	Différents modes de liaison de l'eau	5
5.1.	Energie de liaison – chaleur de vaporisation	6
5.2.	Transferts de chaleur	6
5.3.	Séchage par convection	7
5.4.	Séchage par conduction	8
5.5.	Séchage par rayonnement	8
5.6.	Lyophilisation	9
5.7.	Séchage solaire	9
6.	Séchage non-solaire	10
6.1.	Séchage à la vapeur surchauffée	10
6.2.	Séchage par lit fluidisé	10
6.3.	Séchage par filtration membranaire	11
6.4.	Séchage par lyophilisation	11
6.5.	Séchage par atomisation	12
7.	Cinétique de séchage	12
8.	Courbe de séchage	12
9.	Vitesse de séchage	15
10.	Modèle de séchage	15
10.1.	Modèles empiriques	16
10.2.	Modèles diffusifs	16
10.3.	Courbe caractéristique de séchage	18

11.	Séchage du KILICHI	19
11.1.	Conditions de séchage du KILICHI	19
12.	Conditions d'obtention la valeur nutritionnelle la plus élevée du produit à sécher	19
13.	Domaines d'utilisation du séchage	20
14.	Temps de séchage total	20
15.	Efficacité du séchage quotidien	21
16.	Efficacité collective de séchage	22
17.	Efficacité pour le séchage	22
18.	Mécanisme de séchage	23
19.	Caractéristique d'un solide poreux	24
19.1.	Porosité volumique d'un produit	25
19.2.	Compacité d'un produit	25
20.	Répartition de l'eau dans le matériau	26
20.1.	Loi de Darcy	28
20.	Séchage à l'air libre	28
21.	Qualité des produits secs	29
21.1.	Altérations physiques et mécaniques	29
21.2.	Altérations biochimiques	29
21.3.	Perte d'arome et de couleur	30
21.4.	Qualité sensorielle	30
21.5.	Qualité nutritive	30
21.6.	Capacité de réhydratations	30
22.	Démarche à suivre pour bien mener une opération de séchage solaire	31
22.1.	Détermination des contraintes du produit	31
22.2.	Caractéristiques du site	32
22.2.1.	Facteurs climatiques	32
22.2.2.	Facteurs humains	33
22.2.3.	Réalisation du séchoir	34
23.	Influence des paramètres de l'air sur la cinétique de séchage	34
23.1.	Influence de la température de l'air	34
23.2.	Influence de la vitesse de l'air	34
23.3.	Influence de l'humidité de l'air	35

Chapitre II Energie solaire et séchoirs solaires 36

1.	Gisement solaire	36
1.1.	Soleil	36
1.2.	Caractéristiques du soleil	36
1.3.	SPrésentation générale	37
1.4.	Système terre-soleil	38
2.	Energie solaire	39
3.	Utilisation directe de l'énergie solaire	39
4.	Séchoir solaire	40
4.1.	Séchoirs solaires directs	40
4.1.1.	Principe de fonctionnement	40

4.1.2.	Type de séchoirs directs	41
4.1.2.1.	Boîte de séchage ou séchoir coffre	41
4.1.2.2.	Séchoir intégral à convection naturelle	41
4.1.2.3.	Séchoir solaire coquillage	42
4.1.2.4.	Séchoir cabane	42
4.2.	Séchoirs solaires indirects	43
4.2.1.	Principe de fonctionnement	43
4.2.2.	Type du séchoir indirect	44
4.2.2.1.	Séchoir armoire	44
4.3.	Séchoirs hybrides	44
4.3.1.	Types des séchoirs hybrides	45
4.3.1.1.	Séchoir hybride à convection forcée	45
4.3.1.1.1.	Principe de fonctionnement	45
4.3.1.1.2.	Description technique	45
4.3.1.2.	Séchoir hybride solaire-gaz	46
4.3.1.2.1.	Principe de fonctionnement	46
4.3.1.2.2.	Description technique	46
5.	Capteurs solaire	48
5.1.	Capteurs plans	48
5.2.	Capteurs à Concentrations	48
5.2.1.	Concentrateurs cylindro-paraboliques	48
5.2.2.	Concentrateurs paraboliques	49
5.3.	Système de centrale à tour	50
6.	Stockage	50
6.1.1.	Stockage sensible	50
6.1.2.	Stockage latent	51
6.2.	Stockage thermochimique	52
6.3.	Comparaison des systèmes de stockage	52
Chapitre III Réalisation d'un séchoir solaire à effet de serre		54
1.	Capteur solaire	54
2.	2. Chambre de séchage	54
3.	3. Conduite de liaison	55
4.	4. Accessoires	56
4.1.	4.1. Thermomètres	56
4.2.	4.2. Thermo-hygromètre	56
4.3.	4.3. Balance	47
5	5. Tomates	58
Chapitre IV Résultats et discussion		59
1.	Irradiation solaire	59
2.	Température ambiante	60
3.	Vitesse du vent	60
4.	Humidité relative hors séchoir	61
5.	Températures du capteur	61
5.1.	Température à l'entrée du capteur	61
5.2.	Température à la sortie du capteur	62
6.	Température de l'absorbeur	63

7.	Température de la chambre de séchage	.....	63
8.	Humidité relative dans la chambre de séchage	.....	63
	Conclusion	.....	64
	Références	.....	65
	Résumé	.....	68
	Abstract	.....	69
	ملخص	.....	70

Introduction

Introduction

Le séchoir solaire en mode indirect est le plus répandu parce qu'il permet le contrôle du séchage et l'obtention d'un produit séché de bonne qualité. Le séchoir à effet de serre, de par sa simplicité de conception, de réalisation et de sa capacité de sécher de grande quantité de divers produits agro-alimentaires s'avère bien adapté au séchage solaire.

Sous l'effet de la chaleur, le séchage est un procédé d'extraction d'eau d'un solide par évaporation. Plusieurs techniques sont possibles pour sécher et conserver les récoltes agricoles et les plantes médicinales. Parmi elles, on cite le séchage. La technique de séchage traditionnelle, qui est généralement réalisée sur sol, est la plus utilisée dans tous les pays de développement pour préserver les denrées alimentaires, telles que les céréales, les légumes, la viande et le poisson, etc... . Dans cette méthode traditionnelle, les aliments sont exposés aux intempéries, à la poussière et aux insectes. Un grand nombre de travaux de recherche ont été réalisés sur les systèmes de séchage solaire car il est important et très utile d'un point de vue économique. Cette opération constitue un moyen rentable pour la déshydratation de ces produits. En agro-alimentaire, d'une façon générale, l'optimisation de l'opération de séchage doit répondre à deux impératifs essentiels qui sont la consommation restreinte de l'énergie nécessaire et la sauvegarde de la qualité aromatique du produit à sécher. Il existe plusieurs critères pour classer les séchoirs solaires, parmi les plus importants on cite le séchage direct et le séchage indirect.

La présente étude vise la réalisation d'un séchoir solaire à effet de serre, et mettre en évidence le phénomène de séchage solaire. Pour ce faire, quatre chapitres sont consacrés à cet effet.

Le premier expose le phénomène de séchage, solaire et non solaire.

Le second expose également, en détail, l'énergie solaire et les différents types de séchoirs solaires.

Le troisième, expose les différents constituants d'un tel séchoir solaire, le capteur solaire plan à vitrage, la chambre de séchage et enfin, la conduite de liaison. Le dernier chapitre traite les résultats obtenus par la mise en application d'un tel séchoir.

Chapitre I

Généralites sur le séchage solaire

Chapitre II

Energie solaire et séchoirs solaires

Energie solaire et séchoirs solaires

L'énergie solaire est une source d'énergie propre, disponible dans presque toutes les parties du monde et la plus courante de toutes les sources d'énergie renouvelables, source de presque toutes les sources d'énergie utilisées dans le monde. L'efficacité de ce type d'énergie a été la cause des études sur l'énergie telles que notre thème dans ce chapitre, qui traite des concepts généraux de l'énergie solaire et du soleil.

1. Gisement solaire

Le gisement solaire représente sous forme de rayonnement. L'énergie solaire est le moteur de toutes les grandes sources d'énergie naturel. Les ressources énergétiques mondiales peuvent être classées en le soleil et l'énergie solaire [1,2].

1.1. Soleil

Le soleil est la seule étoile du système solaire et la plus proche de la terre, sa lumière met environ 8 mn à nous atteindre. La deuxième étoile la plus proche est Proxima de Centaure située à 4.23 années lumières du soleil mais la grande distance qui nous sépare de cette étoile fait que le soleil soit la seule étoile qui assure la vie sur terre [1, 3].

Sur le plan humain, le soleil a une importance primordiale car il est à l'origine de la vie sur terre, en lui fournissant d'énormes quantités d'énergie, qui permet la présence de l'eau à l'état liquide et la photosynthèse des végétaux. Le rayonnement solaire est aussi responsable du climat et des phénomènes météorologiques [1].

1.2. Caractéristiques du soleil

Le soleil est la seule étoile du système solaire et la plus proche de la terre, sa lumière met environ 8 mn à nous atteindre. La deuxième étoile la plus proche est Proxima de sépare de Cette étoile fait que le soleil soit la seule étoile qui assure la vie sur terre [4]. Sur le plan humain, le soleil a une importance primordiale car il est à l'origine de la vie sur terre, en lui fournissant d'énormes quantités d'énergie, qui permet la présence de l'eau à l'état liquide et la photosynthèse des végétaux.

Le rayonnement solaire est aussi responsable du climat et des phénomènes météorologiques [4].

1.3. Présentation générale

Le soleil est une étoile naine de forme pseudo-sphérique comparable à une immense boule de gaz très chauds qui se compose de 80% d'hydrogène et de 19% d'hélium, le 1% restant étant un mélange de plus de 100 éléments, soit pratiquement tous les éléments chimiques connus. Bien que le soleil soit une étoile de taille moyenne, il représente à lui seul 99.9% de la masse du système solaire qui est dominé par les effets gravitationnels de l'importante masse du soleil. On représente ci-dessous certains caractéristiques du soleil;

Diamètre (km)	1392000
Masse (kg)	2.10^{30}
Surface (km ²)	$6,09.10^{12}$
Volume (km ³)	$1,41.10^{18}$
Masse volumique (kg/m ³)	1408
Vitesse (km/s)	217
Distance du centre de la voie lactée (km)	$2,5.10^{17}$
Température (C°)	15x106

Tableau II.1: Caractéristiques principales du soleil.

Le soleil est constitué de :

- Noyau contient 40% de la masse du soleil, c'est là où se crée 90% de son énergie sous forme de rayons gamma et X, tout le rayonnement émis dans cette région est totalement absorbé par les couches supérieures, cette zone s'étend sur une épaisseur de 25×10^4 (km).
- Zone radiative où la chaleur produite se propage par une diffusion radiative.
- Zone de convection où la chaleur produite se propage par une convection Turbulente.
- Photosphère est une couche opaque, les gaz qui la constituent sont fortement ionisés et capables d'absorber et d'émettre un spectre continu de radiations, elle émet 99% du rayonnement total principalement dans le visible et c'est elle que l'œil humain perçoit.
- Chromosphère constitue avec la couronne l'atmosphère du soleil.
- Couronne est la dernière couche du soleil.

La figure suivante montre la structure du soleil,

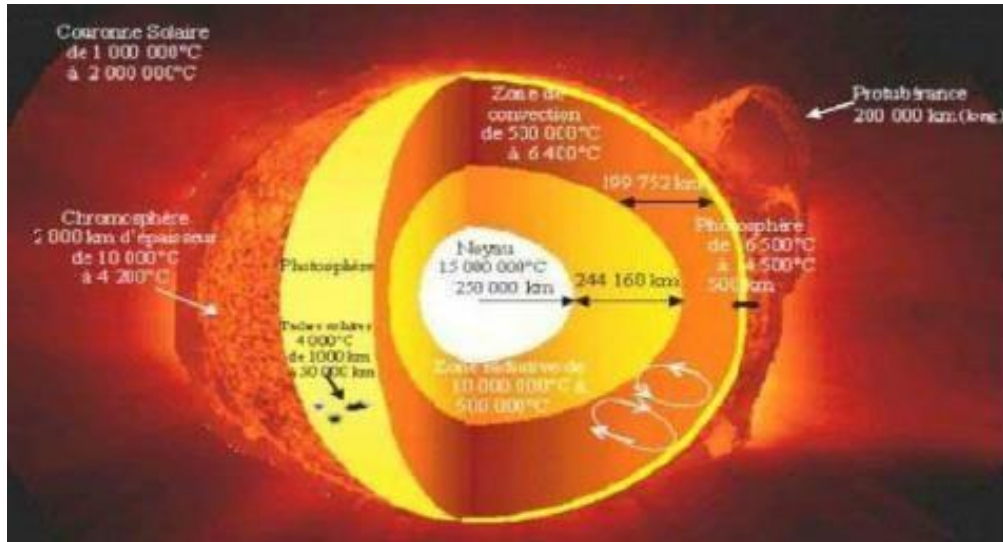


Figure II.1: Structure du soleil.

1.4. Système terre-soleil

Le soleil est une sphère de matière gazeuse, composée principalement d'hydrogène et d'hélium, dont le diamètre atteint environ 1,4 million de km. La terre décrit autour du soleil une trajectoire légèrement elliptique dont le soleil occupe l'un des foyers. Sa distance moyenne est de 149,6 millions de km, avec une variation de $\pm 1,7\%$. La terre traverse le grand axe de l'ellipse le 2 janvier (position la plus proche) et le 2 juillet (la plus éloignée du soleil). Depuis la terre, le diamètre apparent du soleil est vu sous un angle de $0,5^\circ$.

L'axe de rotation de la terre sur elle-même est incliné de $23^\circ 27'$ par rapport au plan de l'écliptique (plan de l'orbite terrestre). On appelle déclinaison l'angle formé par l'axe terre soleil, avec le plan de l'équateur à un moment donné de l'année. La déclinaison 'd' vaut donc $+ 23^\circ 27'$ au solstice d'été, $- 23^\circ 27'$ au solstice d'hiver, et est nulle aux équinoxes. Dans l'approximation d'une trajectoire circulaire, la déclinaison s'écrit, pour chaque jour de l'année :

$$\sin \delta = 0.4 \sin t$$

Où : t désigne la coordonnée angulaire de la terre en prenant l'équinoxe de printemps pour origine.

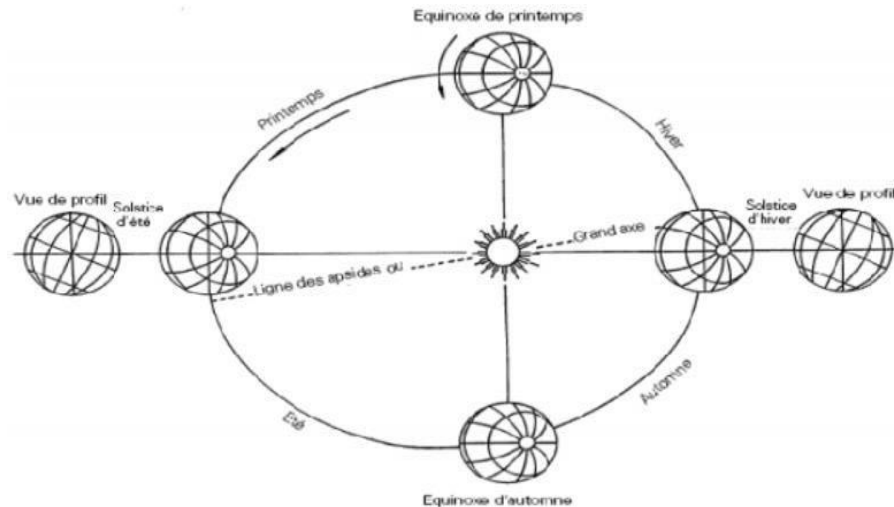


Figure II.2 : Plan de l'écliptique, l'orbite terrestre et les saisons.

2. Energie solaire

Elle est issue du fonctionnement de la machine atmosphérique solaire qui se manifeste par son rayonnement dans l'univers.

Elle se trouve sous différentes composantes comme : énergie de la biomasse, l'énergie des vagues marines, énergie hydraulique, énergie thermique, énergie photovoltaïque et l'énergie éolienne. Cette énergie possède une potentialité pratiquement supérieure à celles des deux autres formes d'énergies renouvelables.

C'est elle qui pose le plus grand nombre de problèmes techniques et économiques mais c'est aussi la plus intéressante par ses potentialités importantes.

3. Utilisation directe de l'énergie solaire

Ce qui nous intéresse c'est l'utilisation directe de l'énergie solaire. Cette dernière est transmise à la Terre à travers l'espace sous forme de particules d'énergie, les photons du rayonnement. L'énergie solaire est actuellement exploitée selon deux techniques : la conversion du rayonnement solaire en chaleur par des capteurs thermiques (conversion hélio- thermique), et sa transformation en électricité grâce à des panneaux photovoltaïques (conversion électrique). Ces transformations ont permis le développement de trois filières d'exploitation :

- Solaire thermique (Chaleur),
- Solaire thermodynamique (Electricité);
- Solaire photovoltaïque (Electricité)

4. Séchoir solaire

Il existe une grande variété de séchoirs et selon le point de vue adopté, différentes façons de les classer, on peut par exemple, retenir comme critère la texture du produit. Les séchoirs solaires sont classés généralement selon le mode de chauffage ou le mode de leur fonctionnement. Alors que le capteur est considéré le composant principale dans le séchoir OÙ capter la chaleur solaire pour transformant l'énergie du rayonnement solaire en énergie thermique, on peut ensuite utiliser cette chaleur comme celle de toutes les sources usuelles de chaleur. Dans ce chapitre nous parlerons sur types: les séchoirs solaires, les capteurs et quelques travaux antérieurs concernant par le séchage et séchoirs.

4.1. Séchoirs solaires directs

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

4.1.1. Principe de fonctionnement

Les rayons solaires frappent directement les produits. Le séchoir solaire direct se compose d'une seule pièce qui fait office à la fois de chambre de séchage et de collecteur solaire. Le fond de la chambre de séchage est peint en noir pour augmenter la capacité d'absorption de chaleur, une feuille de plastique ou polyéthylène transparent sert généralement de toit mais en peut également utiliser d'autres matériaux plus chers comme le verre ou les plastiques spéciaux (polyéthylènes agricoles).

Avantages

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

Inconvénients

- Dégradation de la qualité par exposition direct au soleil, destruction de la vitamine A et C, flétrissement et décoloration.

- Fragilité des matières en polyéthylène qu'il faut changer régulièrement.
- Température relativement élevée dans le séchoir qui contribue avec l'exposition au soleil à la destruction des nutriments
- Faible circulation de l'air qui limite la vitesse du séchage et augmente les risques de moisissure.

4.1.2. Type de séchoirs directs

4.1.2.1. Boîte de séchage ou séchoir coffre

Le séchoir à coffre est un simple séchoir facile à construire par les artisans, en utilisant des matériaux disponibles localement, il est destiné généralement pour la préservation des fruits, légumes, poissons et de la viande. Dans le séchoir coffre, l'air pénètre par les orifices percés par le fond du caisson, et s'échappe par des trous situés dans la partie haute de chaque côté. Le fond de la boîte ainsi que les parois sont peints en noir pour mieux capter le rayonnement solaire. Une feuille de plastique ou une plaque de verre sert de toit, une porte dans le panneau arrière permet de régler la température. Une feuille de plastique ou une plaque de verre sert de toit, une porte dans le panneau arrière permet de régler la température.

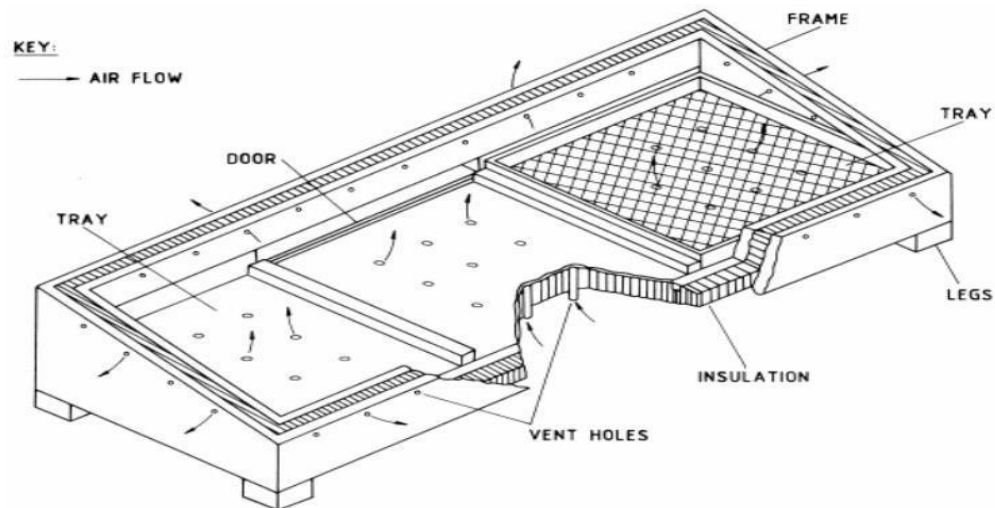


Figure II.3 : Séchoir solaire coffre.

4.1.2.2. Séchoir intégral à convection naturelle

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

variétés de raisins et de dattes, l'exposition au rayonnement est considérée essentielle pour le développement de couleur requise dans le produit sec. Le séchoir est équipé par une cheminée solaire qui peut être utilisée pour augmenter la force de flottabilité imposée au courant d'air et donc fournir un flux important d'air et une vitesse de séchage plus grande.

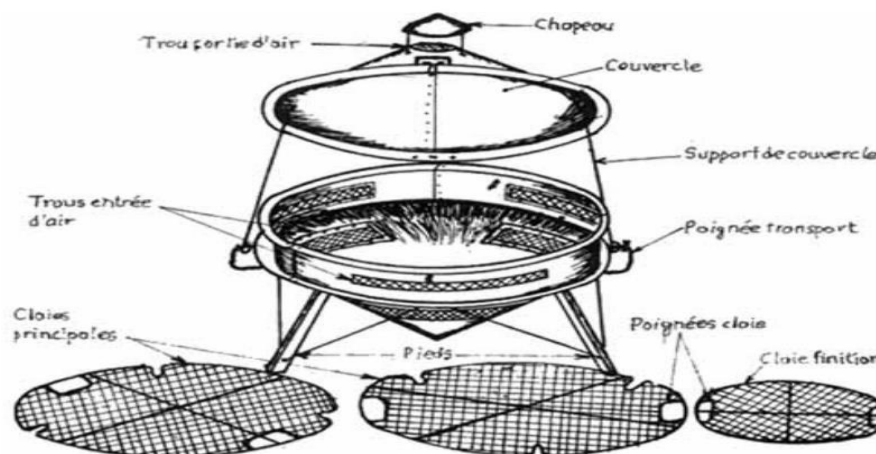


Figure II.4 : Séchoir solaire intégral.

4.1.2.3. Séchoir solaire "coquillage"

Le séchoir coquillage est un séchoir solaire direct à convection naturelle, destinée à l'auto consommation et à la vente locale. Il est essentiellement utilisé par les familles, les coopérations et les groupes de femmes. Ce type de séchoir est composé de deux cônes métalliques reliés par une charnière, la tôle peinte en noir assure une bonne captation du rayonnement solaire, des trous perforés dans la tôle inférieure et supérieure permettant la circulation de l'air. L'efficacité du séchoir dépend des conditions climatiques.

4.1.2.4. Séchoir cabane

Le séchoir cabane est caractérisé par une capacité de 35 kg de produit frais pour une surface de 7m². Les produits sont placés dans le séchoir sur des claies surélevées du sol. La toile de plastique permet de capter l'énergie solaire, une porte permet d'entrer dans la tente et de garnir les claies, une sortie d'air est aménagée dans la partie supérieure. Ce type de séchoir est caractérisé par une meilleure protection contre les insectes, équipement démontable à la saison des pluies et une simple construction et fonctionnement, parmi les inconvénients de ce séchoir

- Coût est assez important,
- Nécessité d'une grande surface de polyéthylène ;

- Prise au vent qui rend ces modèles fragiles si l'emplacement est mal choisi.

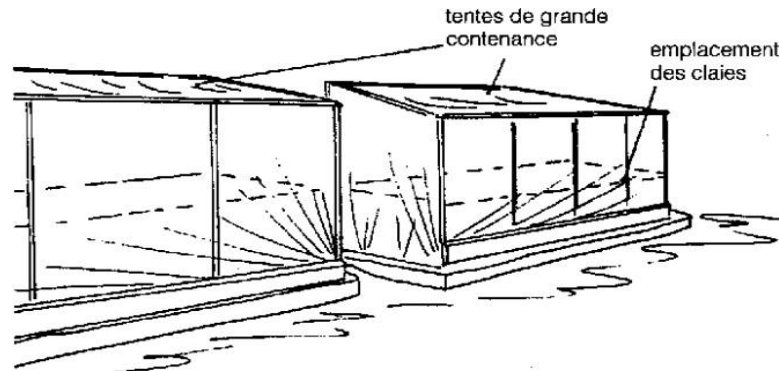


Figure II.6 : Séchoir solaire cabane.

4.2. Séchoirs solaires indirects

Ces séchoirs sont plus performants que les séchoirs directs, ils présentent l'avantage de mieux préserver les qualités de l'aliment : sa couleur, son aspect, sa valeur nutritive. Ils sont donc particulièrement adaptés au séchage des produits alimentaires [7, 8].

4.2.1. Principe de fonctionnement

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

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

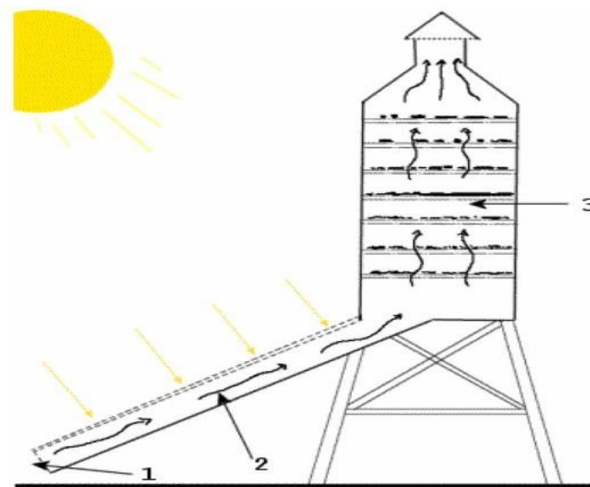


Figure II.7 : Séchoir solaire indirect.

Avantages

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

Inconvénients

- Rapidité du séchage très variable suivant les conditions climatiques et la conception du séchoir.
- Fragilité des matières en polyéthylène qu'il faut changer régulièrement.

4.2.2. Type du séchoir indirect

4.2.2.1. Séchoir armoire

Le collecteur capte l'énergie solaire. L'air chaud s'élève jusqu'à la chambre de séchage où les produits sont disposés sur des claies superposées. Le séchoir armoire est composé d'un collecteur solaire dont l'intérieur a été noirci et d'une chambre de séchage contenant des claies superposées. Le collecteur est recouvert de feuille de plastique translucide et assure la production de l'air chaud. La chambre de séchage protège les produits du soleil préservant aussi leur qualité [7, 9].

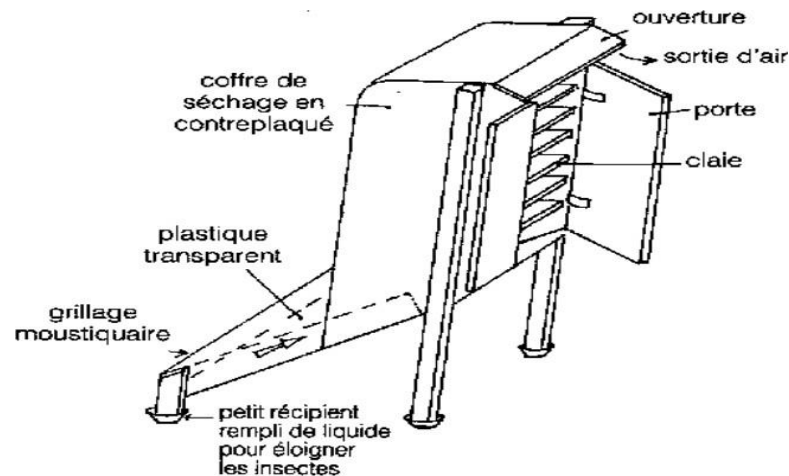


Figure II.8 : Séchoir solaire armoire.

4.3. Séchoirs hybrides

Les recherches se sont orientées vers les séchoirs hybrides utilisant comme énergie d'appoint : Fuel, électricité, bois, gaz [5, 10].

Avantages

- Affranchissement par rapport aux conditions climatiques.

- Meilleur contrôle du séchage.
- Forte augmentation de la production par rapport aux autres types de séchoirs solaires, car le dispositif peut fonctionner la nuit ou en saison des pluies si besoin.

Inconvénients

- Coût de production et d'investissement élevé.
- Nécessité d'approvisionnement local en carburant, électricité, pièce de rechange.
- Personnel qualifié pour la maintenance.

4.3.1. Types des séchoirs hybrides

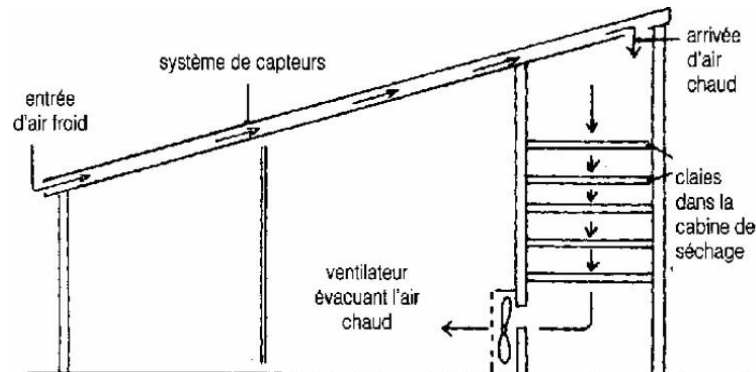
4.3.1.1. Séchoir hybride à convection forcée

4.3.1.1.1. Principe de fonctionnement

Le toit du bâtiment sert de capteur, un ventilateur assure une circulation importante de l'air permettant de sécher très rapidement les produits [5, 11].

4.3.1.1.2. Description technique

L'air est aspiré de l'intérieur du bâtiment par un ventilateur et passe dans un capteur solaire dans le toit du bâtiment. L'air réchauffé arrive dans la chambre de séchage où les fruits sont



disposés sur des claies superposées.

Figure II.9 : Séchoir solaire à convection forcée.

Avantages

- Séchoir très performant.
- Facilement aménageables dans un bâtiment

Inconvénients

- Nécessité de grandes quantités de fruits régulièrement sur l'année pour être rentable

4.3.1.2. Séchoir hybride solaire-gaz

4.3.1.2.1. Principe de fonctionnement

Le collecteur solaire permet de préchauffer l'air. Si la température est insuffisante, un brûleur à gaz se déclenche pour obtenir la température désirée. Les produits peuvent donc sécher quelques soient les conditions climatiques.

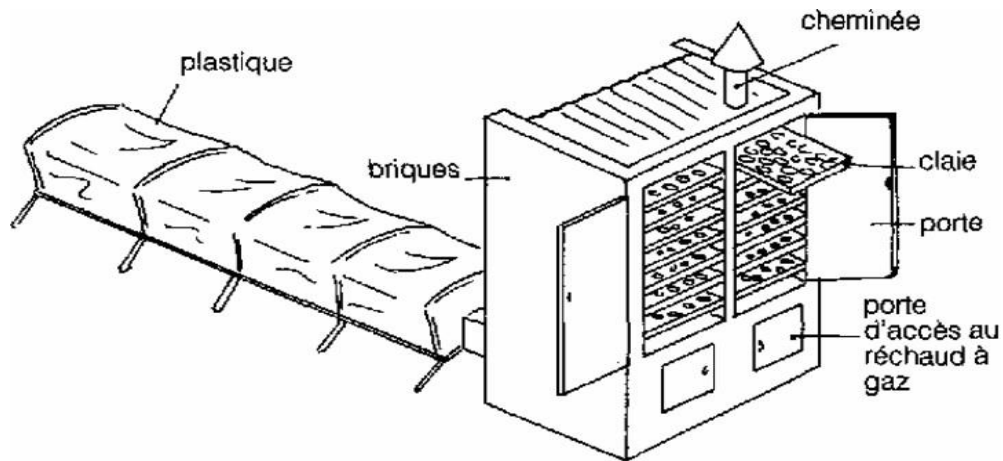


Figure II.10 : Séchoir solaire hybride solaire-gaz.

4.3.1.2.2. Description technique

La circulation de l'air se fait par convection naturelle du collecteur solaire à l'armoire. Le brûleur à gaz permet d'obtenir la température nécessaire pour sécher correctement les produits quelques soient les conditions climatiques **avec** les avantages et les inconvénients suivants ;

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Séchage rapide et d'excellente qualité. • Contrôle de température. • Très grande productivité 	<ul style="list-style-type: none"> • Coût très élevé de l'investissement • Nécessité d'avoir un marché important pour pouvoir écouler les produits.

4.4. Séchoirs 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 aurait les mêmes dispositifs structurant qu'un séchoir indirect mais les parois sont équipées par des plaques de verre de sorte que le rayonnement solaire empieète directement sur le produit comme le séchoir intégral [5, 12].

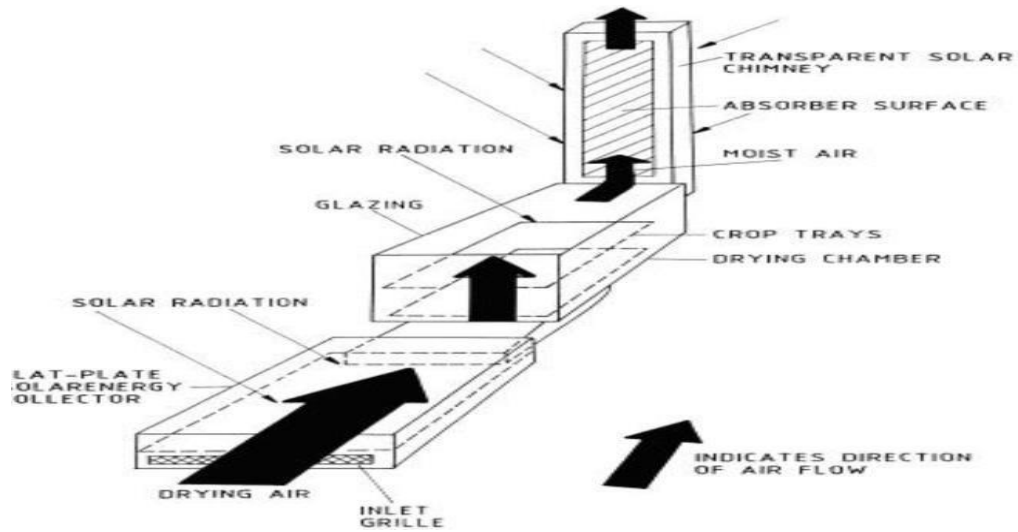


Figure II.11 : Séchoir solaire à circulation naturelle-type 1.

Une autre conception se compose d'un capteur à air avec une pile de Granit recouvert d'une plaque de verre.

La chambre de séchage contenant trois claies superposées, les parois sont des contre-plaquéés, la surface supérieure recouverte de verre. La cheminée solaire prend une forme cylindrique, fabriquée avec des feuilles galvanisées équipées d'un chapeau en métal pour conserver hors de la pluie.

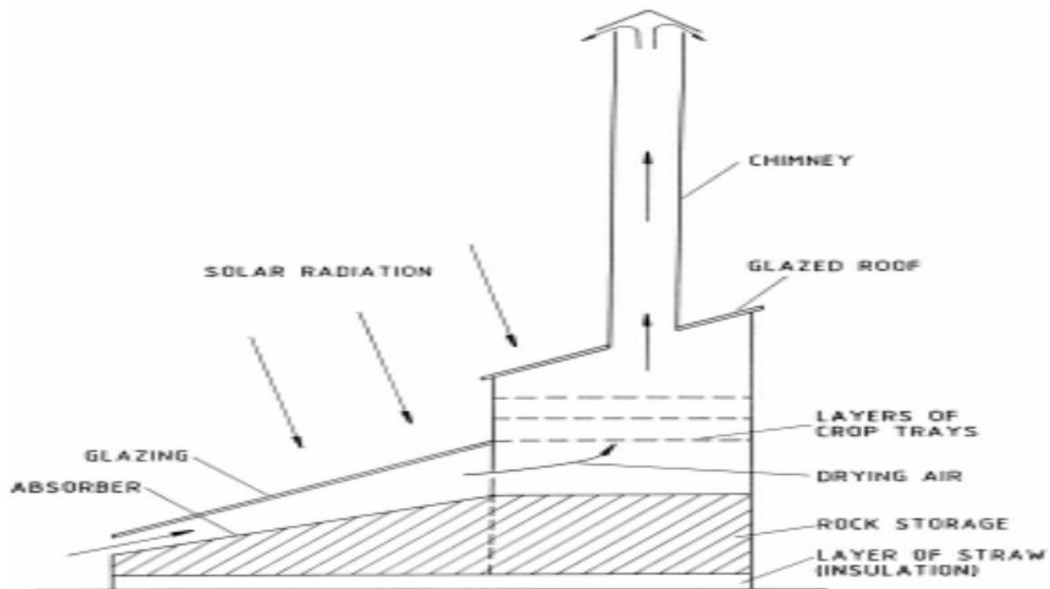


Figure II.12 : Séchoir solaire à circulation naturelle-type 2.

5. Capteurs solaire

5.1. Capteurs plans

Le rayonnement solaire peut être transformé en chaleur à basse température, par des capteurs plans utilisant conjointement l'absorbeur, surface sélective et l'effet de serre du au vitrage. Ces capteurs ont l'avantage d'utiliser aussi bien les rayons directs du soleil que les rayons diffusés, c'est à dire que même par temps couvert, le liquide caloporteur de capteur = parvient à s'échauffer. L'autre avantage est qu'il n'est pas nécessaire d'orienter le capteur suivant le soleil [14].

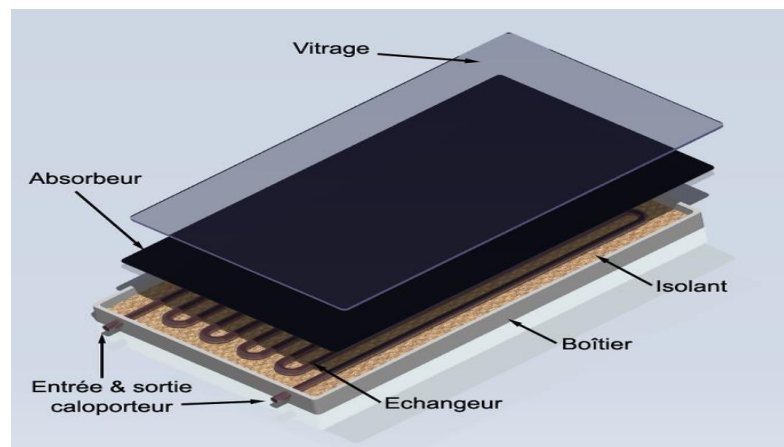


Figure II.13 : Capteur plan.

5.2. Capteurs à Concentrations

Quand les températures plus élevées sont exigées, des capteurs solaires à concentration sont utilisés. Ils utilisent l'énergie solaire arrivant sur une grande surface réfléchissante, et réfléchi sur une plus petite surface avant qu'elle ne soit convertie en chaleur qui entraînerait de températures plus élevées. La plupart des collecteurs à concentration peuvent seulement concentrer le rayonnement solaire parallèle venant directement à partir du disque du soleil (rayonnement direct), donc ils doivent suivre le mouvement apparent du soleil. On constate de manière évidente que leur utilisation restera très limitée (entre 1500 et 1700 heures d'ensoleillement par an en moyenne) [14, 15]. Les trois systèmes à concentration les plus importants pour l'application à grande échelle de l'énergie solaire sont :

5.2.1. Concentrateurs cylindro-paraboliques

Les réflecteurs cylindro-paraboliques sont des systèmes en forme de U. Ils concentrent les rayons du soleil sur un tube récepteur situé le long de la ligne focale du réflecteur. Parfois un

tube en verre transparent entoure le tube récepteur afin de réduire les pertes de chaleur. Ces concentrateurs utilisent souvent un système de pointeur solaire à simple axe ou à double axe. Les températures du récepteur peuvent atteindre 400 C° [14, 16].

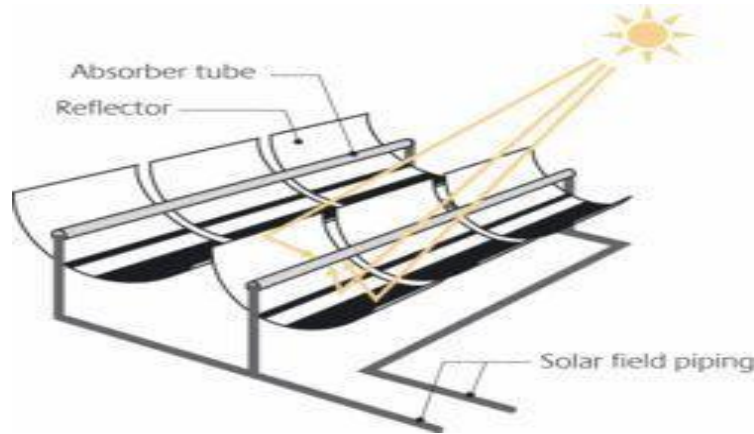


Figure II.14: Concentrateur cylindro-parabolique.

5.2.2. Concentrateurs paraboliques

Ces capteurs utilisent des surfaces réfléchissantes paraboliques pour concentrer les rayons solaires dans le foyer où se trouve le récepteur (absorbeurs) qui capte la chaleur solaire ainsi concentrée. Naturellement ces concentrateurs doivent suivre le mouvement du soleil. Les systèmes à réflecteur parabolique peuvent atteindre des températures plus élevées (jusqu'à 1500 C°) sur le récepteur [40, 43].



Figure II.15: Concentrateur parabolique.

5.3. Système de centrale à tour (Héliostat)

L'héliostat utilise un ensemble de pointeurs solaires à double axe qui dirigent l'énergie solaire vers un grand absorbeur situé dans une tour. Les capteurs possèdent un ensemble de grands miroirs qui suivent le mouvement du soleil. Ces miroirs concentrent les rayons du soleil sur le récepteur en haut de la tour. Un ordinateur garde les miroirs alignés afin que les rayons du soleil réfléchis, visent toujours le récepteur [17, 18].



Figure II.16: Système de centrale à tour.

6. Stockage

Le stockage de l'énergie consiste à emmagasiner une quantité d'énergie durant laquelle celle-ci est abondante ou moins coûteuse, en un lieu donné afin de la restituer ultérieurement.

6.1. Stockage thermique

Le stockage de l'énergie thermique permet à la chaleur d'être utilisée en différé [19].

La chaleur peut être stockée sous plusieurs formes :

- Chaleur sensible : stockage dans des matériaux inertes
- Chaleur latente : utilisation de matériaux à changement de phase qui emmagasinent l'énergie à mesure qu'ils changent de phase.
- Chaleur des réactions : thermochimie et absorption

6.1.1. Stockage sensible

Le stockage sensible est le moyen le plus commun de réutiliser la chaleur. Dans les enceintes de stockage sensible, la température du moyen de stockage augmente avec la chaleur

transférée. Ce stockage, non isotherme accumule une quantité de chaleur proportionnelle à sa masse et à sa capacité calorifique telle que présentée dans l'équation

$$E_{\text{sensible}} = m \cdot c_p \cdot \Delta T$$

6.1.2. Stockage latent

Le stockage de la chaleur latente implique de chauffer un matériau jusqu'à ce qu'il change de phase, c'est-à-dire soit de la phase solide à la phase liquide, soit de la phase liquide à la phase gaz ou encore lors de sa transition solide-solide. Lorsque le matériau atteint sa température de changement de phase, il absorbe de la chaleur pour réaliser la transformation, connue sous le nom de chaleur latente de fusion ou de vaporisation. A l'inverse, lorsque le matériau liquide ou gaz est refroidi, il retourne à la phase solide ou liquide en restituant sa chaleur latente. La quantité de chaleur stockée et restituée dépend de la masse du matériau et selon l'équation :

$$E_{\text{latente}} = m \cdot \Delta h_{s-L}$$

La quantité de chaleur stockée dans un système latent est présentée sur le graphe température – énergie de la Figure ci-dessous

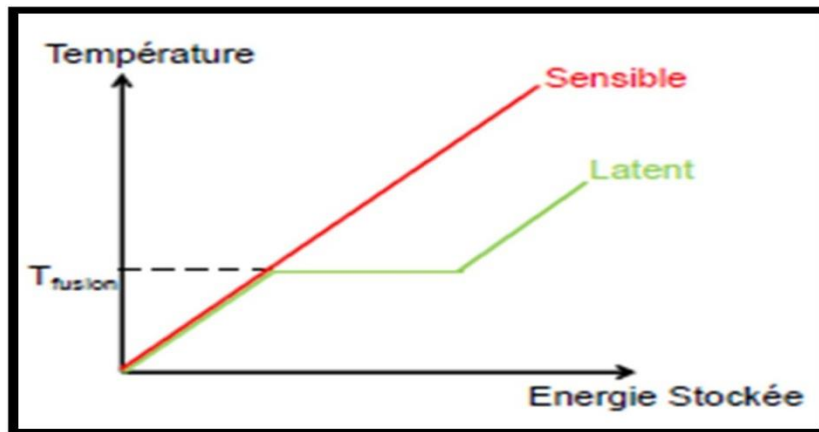


Figure II.17 : Comparaison de deux systèmes de stockage, latent et sensible [19].

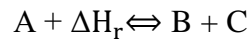
Lorsque le matériau est chauffé, il accumule d'abord une quantité d'énergie sensible lui permettant d'atteindre la température de changement de phase. A ce stade, l'énergie apportée au matériau cesse de le chauffer et est utilisée à la place pour accomplir le changement de phase. La chaleur est stockée de façon isotherme à condition que le corps soit pur sous forme de chaleur latente. Une fois que la transformation est complète, la température augmente de nouveau proportionnellement à l'énergie apportée jusqu'à atteindre la température de la source

de chaleur. Il est donc impossible de ne stocker que la chaleur latente puisque pour arriver au point de changement de phase, le matériau doit subir une montée en température, stockant inévitablement une part d'énergie sensible. La quantité d'énergie stockée peut être exprimée pour le cas de la transition solide-liquide selon l'équation :

$$Q = \int_{T_{\text{initiale}}}^{T_{\text{fusion}}} mC_{p,s}dT + m\Delta h_s + \int_{T_{\text{fusion}}}^{T_{\text{final}}} mC_{p,l}dT$$

6.2. Stockage thermochimique

La troisième façon de stocker l'énergie thermique consiste en l'utilisation de l'énergie endothermique des réactions chimiques réversibles. La chaleur de réaction qui est stockée est souvent associée à la dissociation des réactifs chimiques en deux composants. Tout ou une partie de cette chaleur peut être récupérée plus tard lorsque la réaction de synthèse a lieu.



Avec :

ΔH_r : Chaleur de réaction en J/mol, B et C : Produits sous forme gaz, liquide ou solide

6.3. Comparaison des systèmes de stockage

Tous les systèmes de stockage sont utilisés selon trois étapes majeures : la charge, le stockage et la décharge. Un grand nombre de moyens de stockage peuvent être identifiés selon leurs propriétés, leur température d'utilisation, le type de stockage souhaité et le domaine d'application envisagé. Pour sélectionner le type de stockage, il conviendra de regarder pour quelle application il sera mis en œuvre. Par exemple, les systèmes latents et sensibles seront plutôt utilisés comme stockage tampon pour lisser la production ou différer l'utilisation de l'énergie. Alors que les stockages thermochimiques seront plus adaptés à un stockage de long terme ou inter saisonnier qui emmagasinerait la chaleur produite en excès par certaines installations l'été pour la restituer l'hiver. D'un point de vue économique, l'évaluation nécessite de prendre en compte les coûts d'investissement mais aussi d'exploitation, de maintenance et de recyclage. Ces coûts varient souvent en fonction du volume de stockage. La densité énergétique, c'est-à-dire la quantité d'énergie stockable par unité de volume, est ainsi un critère primordial. Pour le stockage sensible, c'est le produit de la capacité calorifique, du gradient de température ainsi que de la masse volumique qui permet de calculer cette

grandeur. Pour comparer les matériaux, un gradient de 100 °C a volontairement été utilisé, à part pour l'eau qui ne peut pas être utilisée sur une plage de 100 °C. Pour le stockage latent, la chaleur latente est multipliée par la masse volumique. Pour le stockage thermochimique, enfin, la chaleur de réaction divisée par la masse molaire de produit permet de calculer la densité énergétique. Les densités énergétiques obtenues mais aussi les températures de fonctionnement de chaque système de stockage thermique sont présentées pour quelques matériaux dans le Tableau suivant :

Stockage sensible	Température (°C)		Capacité calorifique Cp (kJ/kg[5] [12].K)	Masse volumique ρ (kg/ m³)	Densité énergétique (kWh/m³)
	Froid	Chaud			
Sable – roche – huile minérale	200	300	1.3	1700	61
Béton renforcé	200	300	0.85	2200	52
Huile minérale	200	300	2.6	770	56
Eau	20	80	4.18	1000	70
Nitrates de sels fondus	250	350	1.5	1825	76
Stockage latent	Température de fusion T _{fusion} (°C)		Chaleur latente Δh _{s-L} (kJ/kg)	Masse volumique ρ (kg/ m³)	Densité énergétique (kWh/m³)
Acide maléique	131- 140		235	1590	103
Xylitol	95		232	1500	97
Erythritol	118		340	1450	137
MgCl ₂ .6H ₂ O	117		165	1569	72
NaNO ₃	307		172	2260	108
Stockage thermochimique	Température de réaction(°C)		Enthalpie de réaction ΔH _r (kJ/mol)		Densité énergétique (kWh/m³)
	Charge	Décharge			
H ₂ + ΔH _r ↔ Mg + H ₂	380 à 1	230 à 4	-75		430
	bars	bars			
CaCO ₃ + ΔH _r ↔ CaO + CO ₂	700	650	-178		110
H ₂ + ΔH _r ↔ Mg + H ₂	450	25-400	-94.6 (charge) 64.8 (décharge)		300

Tableau II.2 : Comparaison des différents types de stockage en fonction de densité énergétique [19].

Chapitre III

Réalisation d'un séchoir solaire à effet de serre

Réalisation d'un séchoir solaire à effet de serre

Dans cette partie d'étude, on présente les différents éléments du séchoir solaire réalisé au niveau du laboratoire de physique énergétique de l'université Mohamed BOUDAIF.

Le séchoir solaire comporte deux éléments essentiels, qui sont :

- Le capteur solaire à effet de serre,
- La chambre de séchage,
- Conduite de liaison ;
- Accessoires.

Capteur solaire

Le capteur solaire se constitue de trois éléments essentiels

- Vitre,
- Absorbant (plaque plane de couleur noire) ;
- Isolant.

La figure III.1 montre le capteur solaire installé sur le site de l'expérimentation, tel que ;



Figure III.1 : Capteur solaire.

Chambre de séchage

Pour la chambre de séchage, on a choisi un réfrigérateur domestique déjà utilisé, mais qu'il garde toujours ses qualités thermiques intactes. Le réfrigérateur a deux chambres, l'une petite et l'autre plus grande. On a préféré dans un premier temps de nous servir de la petite et dans un autre temps de la deuxième. Une ouverture est faite sur cette chambre permettant à l'air chauffé

par le capteur d'alimenter la chambre de séchage et une deuxième ouverture de diamètre plus petit permettant également la sortie de l'air avec l'humidité de l'aliment à sécher, telle qu'il le montre la figure suivante ;



Figure III.2 : Chambre de séchage.

Conduite de liaison

Ces deux parties, capteur solaire et la chambre de séchage, sont reliées entre elles par une conduite flexible et bien isolée telle qu'il le montre la figure III. 3. Cette conduite sert à relier les deux parties et principalement conserver le flux thermique tout en minimisant les pertes de charge au strict minimum.



Figure III.3 : Conduite de liaison.

Accessoires

- Thermomètres,
- Thermo-hygromètre ;
- Balance
- Tomate

Thermomètres

On a installé trois thermomètres pour mesurer la température de :

- L'entrée du capteur,
- La sortie du capteur,
- L'absorbeur ;
- La vitre.

Et un thermo-hygromètre pour mesurer à la fois la température et l'humidité de la chambre de séchage,



Figure III.4 : Thermomètres.

Thermo-hygromètre

Le thermo-hygromètre est installé au niveau de la chambre de séchage juste à la paroi supérieure de cette dernière. Le bulbe en noir est bien le thermo-hygromètre.



Figure III.5 : Thermo-hygromètre.

Balance

La balance sert à mesurer le poids de tranchantes de la tomate avant et après le séchage. Deux pesées par jour pour savoir la quantité de l'eau de la tomate perdue par séchage.

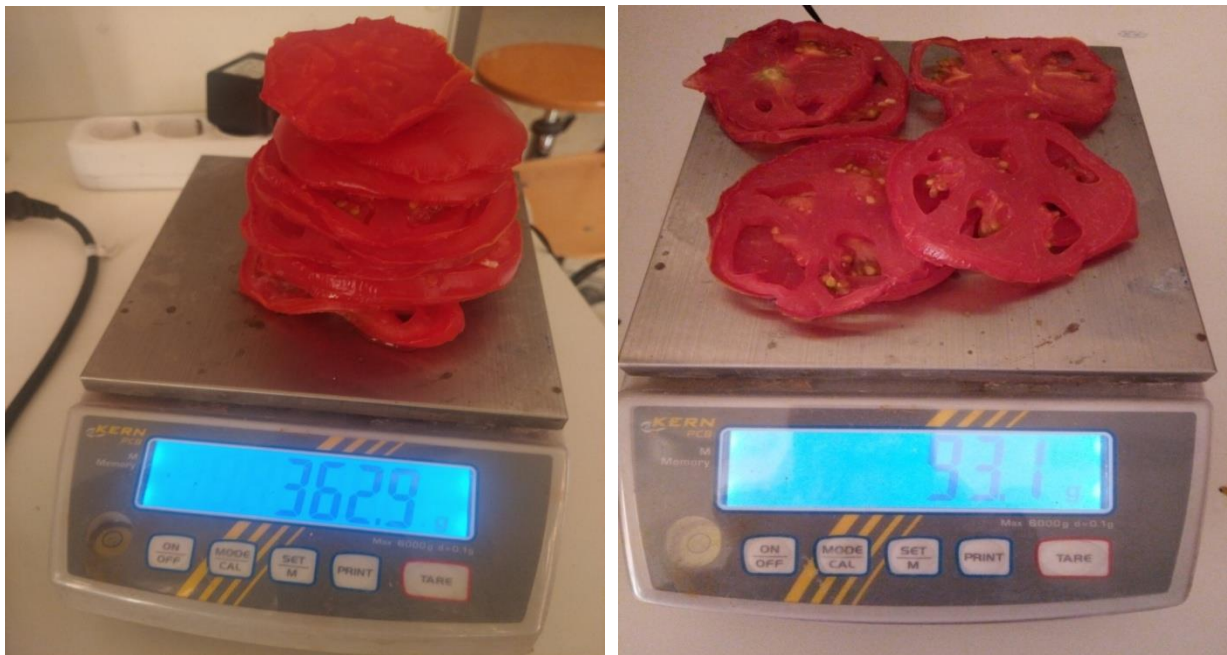


Figure III.6a : Pesée avant séchage. Figure III.6b : Pesée après séchage.

Tomates

L'aliment à cibler par le séchage est la tomate.

Pourquoi les tomates ?

Les tomates, dans cette région de l'Algérie, est un aliement de première nécessité, et toujours present sur la table de tous les citoyens et durant toute l'année. Sous une forme et une autre, on consomme des tomates, salade, plat résistant ou autres....

Dans cette étude, on a coupé la tomate en petites rondelles et ceci dans un but d'accélérer son séchage, comme le montre les différentes figures.

Chapitre IV

Résultats & discussion

Résultats et discussion

Pour la journée du mercredi 09 juin 2021, au site de la ville de Msila, ville des hauts plateaux de l'Algérie, dont les caractéristiques climatiques sont :

- Latitude $35^{\circ}42'07''$,
- Longitude 4.54697m ;
- Altitude 477 m,
- Lever du soleil 5 :24,
- Coucher du soleil 8h:01.

L'irradiation solaire, la température ambiante, la vitesse du vent, les températures de l'entrée et la sortie du capteur, la température de l'absorbeur et celle de la chambre de séchage et son humidité relative sont enregistrés et représentés.

1. Irradiation solaire

Sur une période de temps de 08 heures, l'irradiation solaire captée est représentée en fonction du temps. On remarque que l'irradiation solaire augmente dans un premier temps jusqu'à 13 heures puis elle commence à diminuer jusqu'à 16 heures.

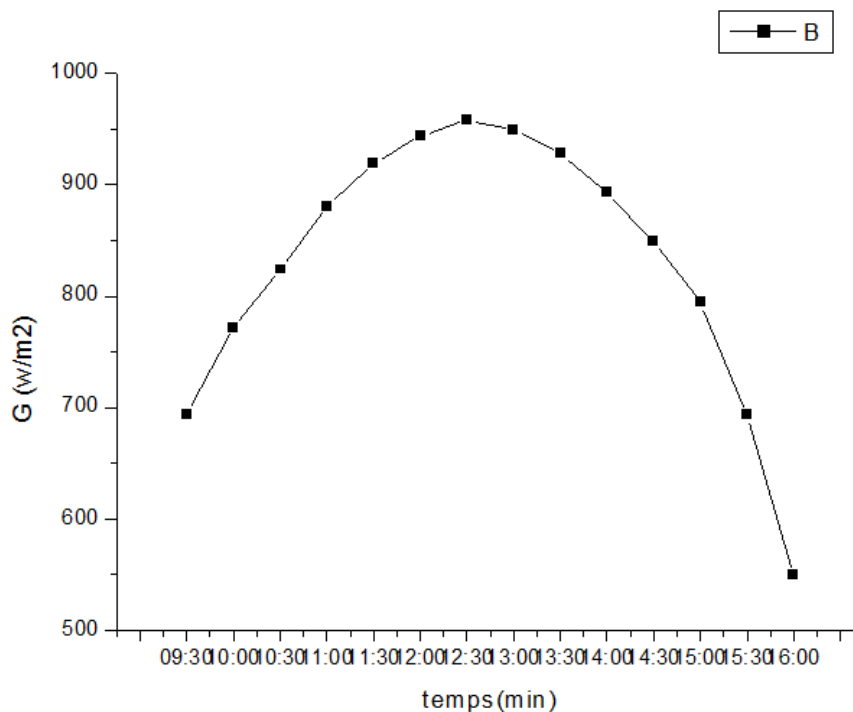


Figure IV.1 : Irradiation solaire.

2. Température ambiante

L'évolution de la température ambiante, exprimée en degré °C, en fonction du temps, exprimé en heure, est représentée. La température augmente jusqu'à 13 heures puis elle commence à diminuer comme le montre la figure IV.2.

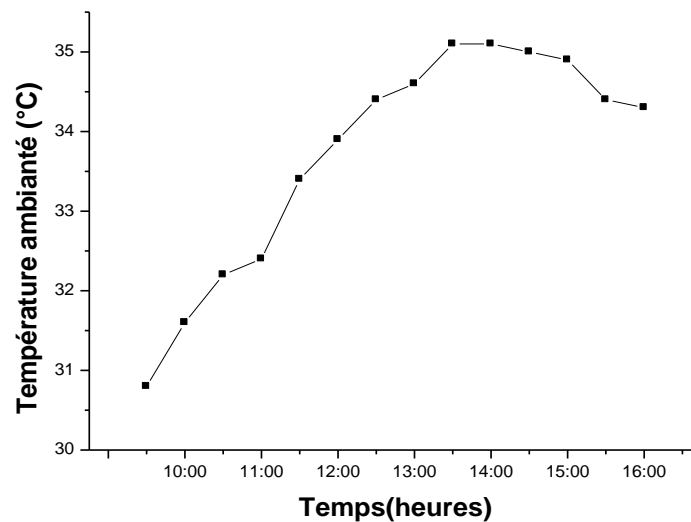


Figure IV.2 : Température ambiante.

3. Vitesse du vent

L'évolution de la vitesse du vent, exprimée en km/h, en fonction du temps, exprimé en heure, est représentée. La vitesse température varie d'une façon aléatoire, elle augmente puis elle commence et elle refait la même chose.

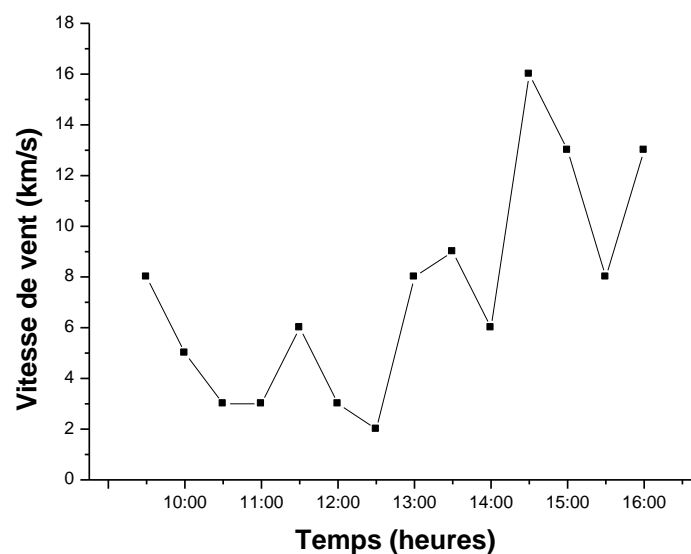


Figure IV.3 : Irradiation solaire.

4. Humidité relative hors séchoir

L'humidité relative décroît dans la matinée pour atteindre une valeur minimale à midi et elle gagne plus de valeur le soir. Ceci est bien conforme avec les résultats théoriques.

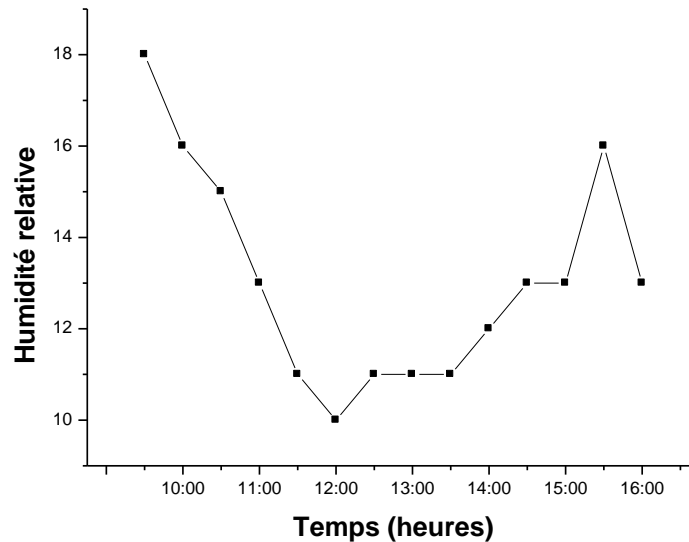


Figure IV.4 : Humidité relative hors séchoir.

5. Températures du capteur

5.1. Température à l'entrée du capteur

La température à l'entrée du capteur augmente jusqu'à 13 heures puis elle commence à diminuer comme le montre la figure IV.5. L'évolution de celle-ci n'est pas régulière.

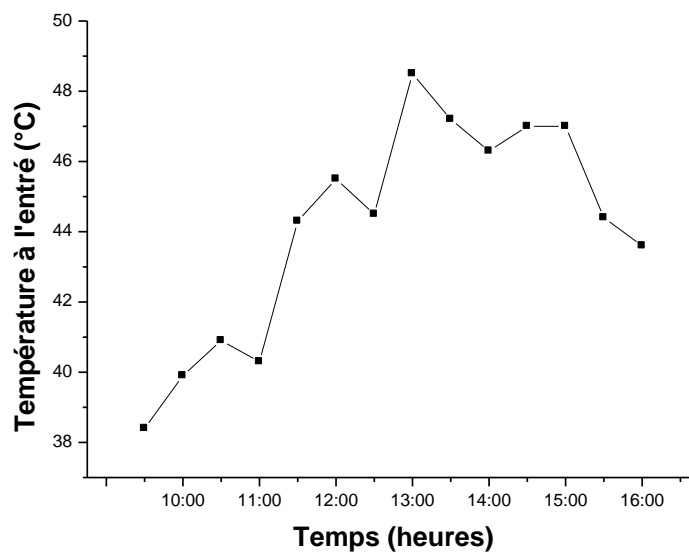


Figure IV.5 : Température à l'entrée du capteur.

5.2. Température à la sortie du capteur

La température à l'entrée du capteur augmente jusqu'à 13 heures puis elle commence à diminuer comme le montre la figure IV.6. L'évolution de celle-ci est relativement régulière.

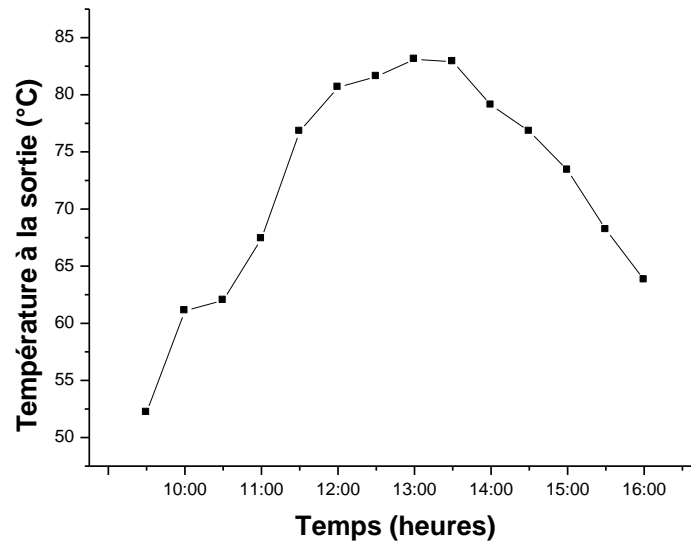


Figure IV.6 : Température à l'entrée du capteur.

6. Température de l'absorbeur

La température de l'absorbeur augmente jusqu'à 13 heures puis elle commence à diminuer comme le montre la figure IV.7. L'évolution de celui-ci est aussi régulière.

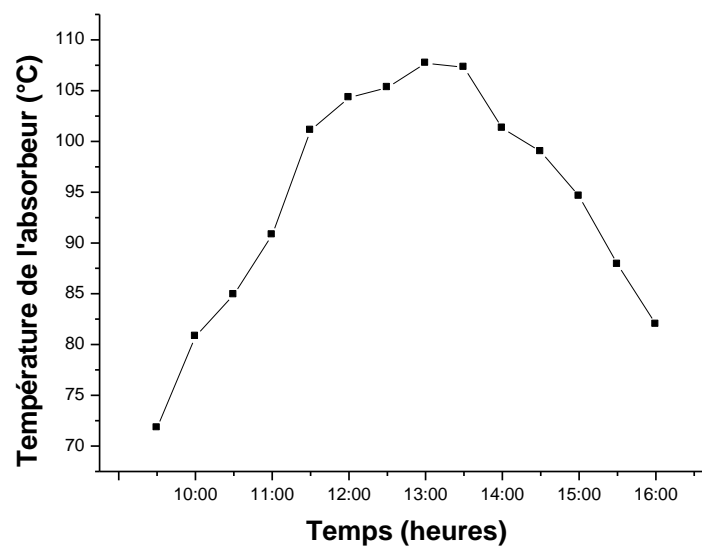


Figure IV.7 : Température de l'absorbeur.

7. Température de la chambre de séchage

La température de l'absorbeur augmente jusqu'à 13 heures puis elle commence à diminuer comme le montre la figure IV.8. L'évolution de celui-ci est aussi régulière.

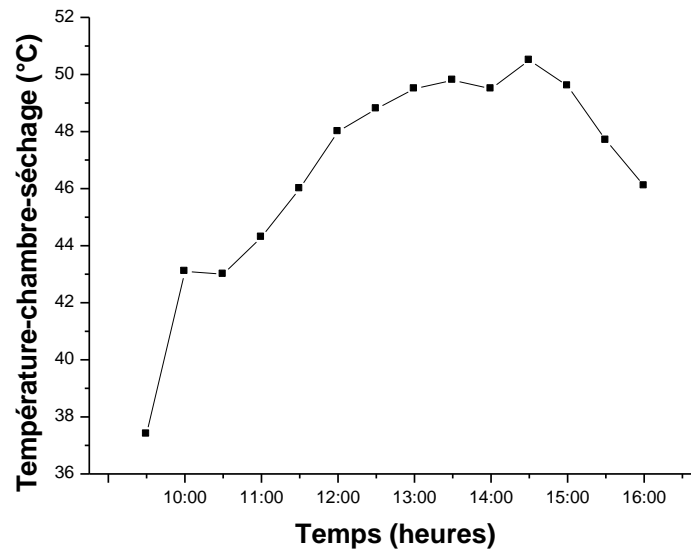


Figure IV.8 : Température de la chambre de séchage.

8. Humidité relative dans la chambre de séchage

L'humidité relative dans la chambre de séchage décroît durant toute la période de séchage. Une fois elle atteint une valeur donnée elle se stabilise à cette dernière pour qu'elle indique que le séchage est achevé.

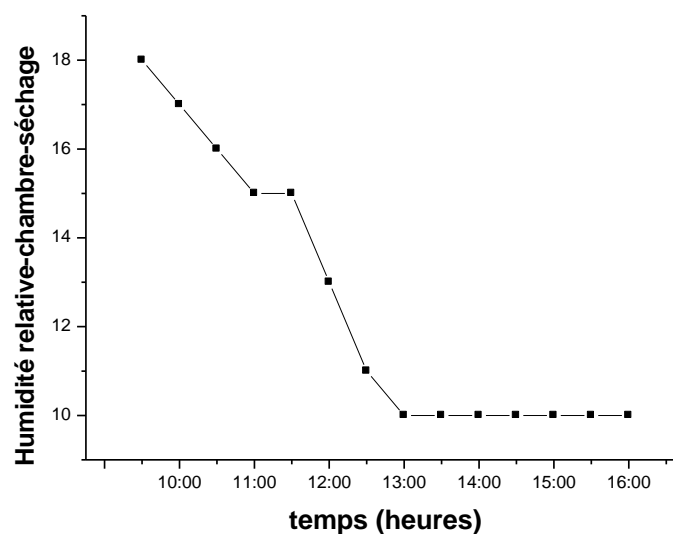


Figure IV.9 : Humidité relative dans la chambre de séchage.

Conclusion

Conclusion

Afin de mettre en évidence le processus de séchage, trois facteurs de base doivent être pris en compte, température, humidité, et la vitesse de l'air asséchant. Une étude expérimentale d'un séchoir solaire indirect à effet de serre est menée. Le séchage fait appel aux trois modes de transfert de chaleur, la convection, la conduction et enfin le rayonnement. En effet, l'énergie solaire est une source d'énergie propre, disponible dans presque toutes les parties du monde et la plus courante de toutes les sources d'énergie renouvelables, source de presque toutes les sources d'énergie utilisées dans le monde. L'efficacité de ce type d'énergie a été la cause des études sur l'énergie telles que notre thème dans ce chapitre, qui traite des concepts généraux de l'énergie solaire et du soleil. Le séchoir solaire réalisé, comporte un capteur solaire à effet de serre, une chambre de séchage, une conduite de liaison et quelques accessoires tels que les thermomètres et thermo-hygromètre.

L'irradiation solaire, la température ambiante, la vitesse du vent, les températures de l'entrée et la sortie du capteur, la température de l'absorbeur et celle de la chambre de séchage et son humidité relative sont enregistrées et représentées. Ces résultats obtenus sont en bon accord avec les résultats théoriques.

Références

Références

- [1] H. ELGUERRI et A. BERROUBI, « Etude numérique et expérimentale de l'effet de certains paramètres sur l'absorbeur d'un capteur solaire plan », Mémoire de master, Université Mohamed BOUDIAF, M'sila, 2019.
- [2] J. BERNARD, « Energie solaire calculs et optimisation », Ellipse Edition Marketing, 2004.
- [3] A. H. KHEDIM, «Energie solaire et son utilisation sous forme thermique et photovoltaïque », Centre de Publication Universitaire, (2003).
- [4] R. BERNARD, G. MENGUY, et M. SCHWARTZ, « Le rayonnement solaire, conversion thermique et applications », Technique et Documentation, 1979.
- [5] J. Bernard, « Energie solaire calculs et optimisation », Ellipse Edition Marketing, 2004.
- [6] J. Bernard, « Energie solaire calculs et optimisation, Ellipse Edition Marketing », 2004.
- [8] M. E. SADIL et Z. HAMLAT, « L'impact Des Energies Renouvelables Sur Le Réseau Electrique Ouest Algérien 220 KV», 2013-2014
- [9] A. MEFTI, M. Y. BOUROUBI & H. MIMOUNI, « Evaluation du potentiel énergétique solaire bulletin des énergies renouvelable », N° 2, p 12, décembre, 2002.
- [10] M. MOGHARBI et D. HALASSA, « Conception et réalisation d'un capteur solaire plan à air », Mémoire de Master, Université de Ouargla, 2006.
- [11] M. MOGHARBI et D. HALASSA, « Conception et réalisation d'un capteur solaire plan à air », Mémoire de Master, Université de Ouargla, 2006.
- [12] S. BOUGHALI, « Etude et optimisation du séchage solaire des Produits agro-alimentaires dans les zones arides et désertiques », Phd-Thesis Université de Batna 2, 2010.
- [13] N. CHALAL, « Etude d'un séchoir solaire fonctionnant en mode direct et indirect ». Mémoire de magister, Université MENTOURI-Constantine, 2007.
- [14] S. REDDAM, M.E. KHODIR, & A. SAF, « Technologies de séchage Etude de cas: séchage de deux matrices végétales par étuve », 2018.
- [15] M. MOGHARBI et D. HALASSA, « Conception et réalisation d'un capteur solaire plan à air », Mémoire de Master, Université de Ouargla, 2006.
- [16] A. BENSEDDIK, « Modélisation et simulation de séchage de la figue par des séchoirs solaires indirects fonctionnant en convection forcée, mémoire de magister », Université Abou-Baker Belkaid-Tlemcen, 2011.

- [17] K. Aoues, et N. Moumami, « Amélioration des performances thermiques d'un capteur solaire plan à air: Etude expérimentale dans la région de Biskra », *Revue des Energies Renouvelables* 12 N°2: pp 237 – 248, 2009.
- [18] R. Dilip, L. SAWHNEY, « Design, development and performance testing of a new natural convection solar dryer », *Energy*, Vol 27, pp 579–590, 2002.
- [19] KHALIL, E. J., AL-JUAMILY, « Testing of the performance of a fruit and vegetable solar drying system in Iraq », *Science Direct*, Vol 209, pp: 163-170, 2007.
- [10] R. BENKHELFELLAH, et S. El MOKRETAR, « séchoirs solaires», 12èmes Journées Internationales de Thermique, Maroc, 2005.
- [21] D. SEMMAR, et S. BETROUNI, « Etude et Réalisation d'un Capteur Solaire à Air », *Rev. Energ. Ren. : Physique Energétique*: pp 33 – 38, 1998.
- [22] S. Singh, et P. Singh, « Multi-shelf portable solar dryer », *Renewable Energy* Vol 29, pp 753-765, 2004.
- [23] J. DILIP, « Modelling the performance of the reversed absorber with packed bed thermal storage natural convection solar crop dryer», *Journal of Food Engineering*, Vol 78, pp 637-647, 2007.
- [24] A. KHAZZAR & A. OUNIS, « Contribution à l'étude expérimentale de séchage du poivron », *Mémoire de Master, UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF-M'SILA*, 2020.
- [25] O. V. EKECHUKWU & B. Norton, "Review of solar energy systems II : an over view of solar drying technology », *Energy Conversion and Management*, Vol 40, pp 615 –655, 1999.
- [26] A. CHARREAU et R. CAVAILLE, « Techniques de l'ingénieur – génie des procédés Séchage, Théorie et calculs ».
- [27] M. DAGUENET, « Les séchoirs solaires : théorie et pratique », *Publication de l'UNESCO*, Paris, France, 1985.
- [28] A. MADHLOPE, S. A. JONES, and J. D. KALENGA SAKA, « A solar air heater with composite absorber systems for food dehydration ", *Renewable Energy*, Vol 27, pp 27 – 37, (2001).
- [29] S. LAHSASNI, M. KOUHILA, M. MAHROUZ, A. IDLIMAM AND A. JAMALI, « Thin layer convective solar drying and mathematical modeling of prickly pearpeel », *Energy*, Vol 29, pp 211 – 244, 2004.
- [30] D. R. PANGAVHANE, R. L. SAWHNEY, « Review of research and development work on solar dryers for grape drying », *Energy Conversion and Management*, Vol 43, pp 45 – 61, (2002).
- [31] S. REDDAM, M. E. KHODIR, & A. SAF, « Technologies de séchage Etude de cas: séchage de deux matrices végétales par étuve », 2018.

- [32] M. D.NDIAYE, « Optimisation d'un capteur solaire double passe à air et estimation des échanges de chaleur paroi-fluide », thèse, France, 2019.
- [33] M. TOUATI TLIBA « Etude expérimentale du séchage solaire des plantes feuillues », Mémoire de master, Université ECHAHID HAMMA LAKHDAR d'El-Oued, 2019.
- [34] O. V. EKECHUKWN, B. NORTON, « Review of solar energy systems II : an overview of solar drying technology », Energy Conversion and Management, Vol 40, pp 615 – 655, 1999.
- [35] P. DUDEZ, « Le séchage solaire à petite échelle des fruits et légumes : expériences et procédés », Edition du Gret, France, 1999.
- [36] D. MENNOUCHE, « Valorisation des produits agro-alimentaires et des plantes médicinales par les procédés de séchage solaire », Mémoire de magister. Université KASDI MERBAH, Ouargla, 2006.
- [37] N. M. SEDIK « Etude des paramètres impactant sur le rendement d'un capteur solaire » Annaba, 2018.
- [38] M. DAGUENET, « Les Séchoirs Solaires : Théorie et Pratique », UNESCO, Paris, 1985.
- [5] http://en.wikipedia.org/wiki/Solar_energy
- [39] A. H. KHEDIM, « Energie solaire et son utilisation sous forme thermique et photovoltaïque », Centre de Publication Universitaire, 2003.
- [40] J. Bernard, « Energie solaire calculs et optimisation, Ellipse Edition Marketing », 2004.
- [41] M. CAPDEROU, « Atlas solaire de l'Algérie », O.P.U. Alger.1985.
- [42] A. MEFTI, M. Y.BOUROUBI & H. MIMOUNI, « Evaluation du potentiel énergétique solaire bulletin des énergies »,
- [43] Nadia CHALAL, « étude d'un séchoir solaire fonctionnant en mode direct et indirect Mémoire de magister », Université MENTOURI-Constantine, 2007.
- [44] O. V. EKECHUKWU et B. NORTON, « Review of solar-energy dryings systems II: an overview of solardryingtechnology », Energy conversion and management, Vol 40, pp 615-655, 1999.

Résumé

Afin de mettre en évidence le processus de séchage, trois facteurs de base doivent être pris en compte, température, humidité, et la vitesse de l'air asséchant. Une étude expérimentale d'un séchoir solaire indirect à effet de serre est menée. L'irradiation solaire, la température ambiante, la vitesse du vent, les températures de l'entrée et la sortie du capteur, la température de l'absorbeur et celle de la chambre de séchage et son humidité relative sont enregistrées et représentées. Ces résultats obtenus sont en bon accord avec les résultats théoriques.

Mots clés : *Séchoir, solaire, expérimental, température, humidité.*

Abstract

In order to highlight the drying process, three basic factors must be taken into account, temperature, humidity, and the speed of the drying air. An experimental study of an indirect greenhouse solar dryer is being carried out. Solar irradiation, ambient temperature, wind speed, collector inlet and outlet temperatures, absorber and drying chamber temperature and its relative humidity are recorded and displayed. These results obtained are in good agreement with the theoretical results.

Keywords: *Dryer, solar, experimental, temperature, humidity.*

ملخص

من أجل تسليط الضوء على عملية التجفيف، يجب مراعاة ثلاثة عوامل أساسية، درجة الحرارة، والرطوبة، وسرعة تجفيف الهواء. يتم إجراء دراسة تجريبية لمجفف شمسي غير مباشر للاحتباس الحراري. تم تسجيل وعرض الإشعاع الشمسي ودرجة حرارة الجو وسرعة الرياح ودرجات حرارة مدخل ومخرج المجمع ودرجة حرارة غرفة الامتصاص والتجفيف والرطوبة النسبية. تتوافق هذه النتائج التي تم الحصول عليها مع النتائج النظرية بشكل جيد.

الكلمات المفتاحية: *مجفف ، شمسي ، تجريبي ، درجة حرارة ، رطوبة .*