

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: Technologies

Filière: Génie mécanique

Spécialité: Énergies renouvelables en mécanique

Thème

**Conception et réalisation d'un séchoir
passif assisté par un capteur solaire plan**

Devant le jury composé

Présenté par :

..... Président
..... Examineur
..... Examineur
DR. Laouini Abdeljalil Encadreur

Ben Amara Ali
Hlilate Chokri
Kina Taoufeik

Année Académique 2020/2021

DÉDICACE

NOUS DÉDIONS CE TRAVAIL :

POUR **MA MÈRE ET MON PÈRE**. A TOUS LES
PROFESSEURS DE DÉPARTEMENT GÉNIE
MÉCANIQUE

SURTOUT **DR.LAOUINI ABD EL DJALIL**

CHEF DÉPARTEMENT GÉNIE MÉCANIQUE À

TOUS LES MEMBRES DU COMITÉ

D'ÉVALUATION, LES PROFESSEURS ET

DOCTEURS

TRÈS CHER AMIS

ET POUR TOUS LES COLLÈGUES ÉTUDIANT

REMERCIEMENTS

En ce jour propice, Nous tenons à offrir un gentil mot de remerciement Tout d'abord , nous remercions Dieu pour ce travail de mémoire, et nous remercions et consacrons nos parents, le père et la mère. Je tiens également à exprimer ma gratitude aux enseignants de l'Université Hamma-Lakhdar, qui m'ont soutenu avec les ressources dont j'avais besoin pour réussir mes études universitaires. Je tiens à exprimer ma gratitude au DR LAOUINI abd el djalil en particulier pour toutes les connaissances et les conseils donnés dans le développement de cette mémoire.

Nous aimerions profiter de cette occasion pour exprimer notre profonde gratitude et nos remerciements à tous nos frères et Chers amis.

Merci à tous ceux qui nous aider dans ce travail un peu ou beaucoup

*Tous mes remerciements et mon estime à tous les enseignants du département de **génie mécanique**.*

LISTE DES FIGURES:

CHAPITRE I

Fig I.1 La mouvement de la terre.....	17
Fig I.2 Spectre solaire.....	19
Fig I.3 Composantes du rayonnement solaire au sol	20
Fig I.4 Variation mensuelle de la constante solaire	Error! Bookmark not defined.
Fig I.5 Représentation schématique d'un solide humide.....	24
Fig I.6 Courbe de séchage $n_s = f(t)$	25
Fig I.7 Courbe de séchage (dn_s/dt) = $g(t)$	25
Fig I.8 Courbe de séchage	26
Fig I.9 Le rayonnement solaire en Algérie.....	29
Fig I.10 Répartition rayonnement solaire à travers le monde.....	29

CHAPITRE II

Fig II.1 Concentrateur cylindrique parabolique.....	32
Fig II.2 Concentrateur parabolique.....	Error! Bookmark not defined.
Fig II.3 La centrale à tour 20 MW de Abengoa.....	34
Fig II.4 Centrale à tour 125 MW de Solaire brillant.....	35
Fig II.5 capteur solaire plat.....	36
Fig II.6 Différents types de séchoirs solaire Différents types de séchoirs solaire.....	Error! Bookmark not defined.
Fig II.7 Principe de séchage à l'air libre	38
Fig II.8 Le principe d'un séchoir solaire direct.. ..	39
Fig II.9 Le principe d'un séchoir solaire indirect.....	40
Fig II.10 Principe du séchoir solaire fonctionnant en mode direct à convection naturelle	42
Fig II.11 Exemple de séchoir solaire de mode direct à convection forcée.....	42
Fig II.12 Principe de séchoir solaire hybride.....	43
Fig II.13 principe d'un séchoir solaire mixte	44
Fig II.14 Différents types de stockage thermique et chimique de l'énergie solaire.	46
Fig II.15 Différents types de stockage thermique de l'énergie solaire.....	49
Fig II.16 Classification des matériaux à changement de phase.....	50
Fig II.17 Classification de MCP.....	51

CHAPITRE III

Fig III.1 montrant notre séchoir solaire.....	53
Fig III.2 collecteur soutenu par une tôle de fer.....	54
Fig III.3 collecteur soutenu par pierre silex du Biskra.....	55
Fig III.4 collecteur soutenu avec de la coupeau d'acier.....	56
Fig III.5 chambre de séchage.....	56
Fig III.6 Représente de la menthe.....	57
Fig III.7 montrant comment mettre de la menthe dans une chambre de séchage.....	59
Fig III.8 montrant comment mesurer le poids du produit.....	60

CHAPITRE IV

Fig IV.1 Variation de teneur en eau en fonction de temps.	62
Fig IV.2 Variation de teneur en eau en fonction de temps.	63
Fig IV.3 variation de la température ambiante et radiation solaire en fonction de temps.....	64
Fig IV.4 Variation de la température ambiante et radiation solaire en fonction de temps.....	65
Fig IV.5 Variation de la température de collecteurs fonction de temps.....	66
Fig IV.6 Variation de la température de collecteurs fonction de temps.....	67
Fig IV.7 Variation de la température de chambres fonction de temps.....	68
Fig IV.8 Variation de la température de chambres fonction de temps.....	69
Fig IV.9 Variation de la vitesse en fonction de la teneur en eau A ,B et C.....	70
Fig IV.10 Variation de la vitesse en fonction de la teneur en eau A ,B et C.....	71

NOMENCLATURE:

- RG le rayonnement solaire global.
- D le rayonnement solaire diffus.
- I le rayonnement solaire direct.
- H la hauteur du soleil.
- C la constante solaire.
- I_0 : est la valeur moyenne de la constante solaire actuellement retenue égal 1353 (W/m²).
- N le numéro du jour de l'année.
- Q la vitesse à laquelle la chaleur est transférée dans une unité de temps (W).
- A surface d'échange (m²).
- T_a température entre le gaz de séchage (air).
- T_s la température de surface du produit à sécher.
- A coefficient d'échange de convection (W / m²· K).
- λ_a la conductivité thermique de l'air.
- Re le nombre de Reynolds.
- Pr le nombre de Prandtl.
- C une constante ajustée expérimentalement.
- M proche de 0,8 .
- n proche de 0,5.
- λ conductivité thermique de la pellicule de produit ou de gaz à travers laquelle s'effectue le transfert (W / m·K).
- T_s température entre la paroi chaude et le produit.
- T₁ température de la source émettrice(K).
- T₂ température du produit(K).
- A₁ surface du corps recevant le rayonnement(m²).
- A₂ surface de l'émetteur d'infrarouge(m²).
- Φ facteur complexe tenant compte de la position relative de l'émetteur et du Produit.
- ϵ_1 émissivité du produit à traiter.
- ϵ_2 émissivité de l'émetteur.
- σ constante de Stephan Boltzmann

M	masse du produit à sécher(kg).
A	surface à travers laquelle s'opère le transfert d'humidité(m ²).
P_s	pression de vapeur d'eau(Pa).
m	masse du MCP (kg).
C_p	chaleur spécifique du MCP (J.kg ⁻¹ .K ⁻¹).
L_f	enthalpie de fusion du MCP (J).
T_i	température initiale, de fusion et finale respectivement (K).
T_f	température initiale, de fusion et finale respectivement (K).
T_m	température initiale, de fusion et finale respectivement (K).
a_r	fraction de produit de réaction.
l_f	quantité de la chaleur massique mise en jeu lors de la réaction (J/mol).
m	masse (kg).

LISTE DES TABLEAUX:

Tableau I.1 Caractéristiques principales du soleil.....	16
Tableau II.1 Avantages et des inconvénients du les séchoirs naturels	38
Tableau II.2 Avantages et inconvénients du séchoir solaire direct	39
Tableau II.3 Avantages et des inconvénients d'un séchoir solaire indirect.....	40
Tableau II.4 avantages et des inconvénients d'un séchoir solaire hybride.....	43
Tableau II.5 Une liste de matériaux solides-liquides sélectionnés pour le stockage de chaleur sensible	47
Tableau II.6 Tableau comparatif des avantages et des inconvénients du stockage de chaleur par chaleur sensible et par chaleur latente.....	48
Tableau III.1 La composition chimique de la menthe	58

SOMMAIRE

Introduction Générale.....	13
Chapitre I Gisement solaire	15
I.1 Introduction	16
I.2 Soleil.....	16
I.3 Mouvement de la terre autour de soleil	17
I.4 RAYONNEMENT SOLAIRE	17
a. Rayonnement direct.....	19
b. Rayonnement diffus.....	19
c. Albédo.....	20
d. Rayonnement global.....	20
I.5 Constante solaire	20
I.6 Transferts de chaleur.....	21
I.6.1 Séchage par convection.....	21
I.6.2 Séchage par conduction.....	22
I.6.3 Séchage par rayonnement.....	23
I.7. Transfert de masse et les différentes étapes de séchage d'un produit humide	24
I.7.1 Transport d'humidité des parties profondes du produit vers sa surface	24
I.7.2 Obtention des courbes de séchage et interprétation.....	24
I.8 Gisement solaire en Algérie	27
I.9 Conclusion.....	30
Chapitre II les collecteurs et les séchoirs solaires	31
Introduction.....	32
Partie 01 : Le collecteurs solaires	32
II. le collecteurs solaires thermique	32
II.1 Collecteur solaires avec concentration	32
II.2 Collecteur solaires sans concentration	35
Partie 02: Les séchoirs solaires.....	36
II.1 Différents types de séchoirs solaire	36
a. Séchoirs naturels.....	37
b. Séchoirs solaires directs.....	38

IV.5 La température de chambres en fonction de temps	67
IV.6 La vitesse de séchage en fonction la teneur en eau	70
IV.7 Conclusion	71
Conclusion Général	73

INTRODUCTION

GÉNÉRALE

Introduction Générale

L'énergie solaire, sous toutes ses formes, continue d'être l'un des facteurs les plus importants du développement économique et de la croissance d'un pays. L'Algérie a une quantité importante d'ensoleillement pour la majorité de l'année. Elle a une moyenne annuelle de 2500 heures d'ensoleillement et reçoit une énergie solaire quotidienne moyenne de 16,2 à 27 MJ / m² sur un plan horizontal. Cette quantité d'énergie est suffisante pour répondre à la demande énergétique pour le séchage des produits agricoles [1].

De nombreux produits agricoles consommés en grande quantité ne sont pas toujours disponibles à tout moment de l'année. Pour remédier à cette limitation, plusieurs options ont été suggérées, notamment la plantation en serre, la congélation et le séchage. Pour une large gamme de produits, le séchage s'est avéré être une solution pratique, sûre et efficace.

Les humains ont utilisé le séchage pour répondre à leurs besoins depuis la nuit des temps. Le séchage est une méthode de conservation des produits alimentaires agricoles tels que le poisson, la viande, les grains de maïs, le riz, les céréales et autres céréales, ainsi qu'une étape nécessaire dans la production de produits tels que le bois, le papier et les matériaux de construction.

Cependant, comme le séchage est une procédure difficile à contrôler, nous utilisons des courbes de séchage pour refléter les variations de divers paramètres tels que la température et l'humidité. Cela nous aide à contrôler le processus de séchage et à garantir que le produit à sécher ne se déforme pas, ne se fissure pas ou ne se détériore pas.

Sans recourir à l'expérimentation, la simulation permet de prédire le comportement du produit à sécher et de connaître les paramètres affectant cette opération. D'autre part, il permet la sélection la plus efficace des paramètres de séchage afin d'économiser de l'énergie. Il convient de noter que le séchage est un processus énergivore, donc réduire les coûts et gagner du temps sont des préoccupations constantes pour les chercheurs et les scientifiques dans ce domaine.

Cette recherche fait partie d'un effort plus large pour comprendre et améliorer le séchage au soleil des produits alimentaires agricoles, en particulier la menthe, et notre objectif est d'utiliser le soleil pour le séchage et de comparer les trois collecteurs (collecteur soutenu avec de la coupeau d'acier, collecteur soutenu par pierre silex du

Biskra, collecteur soutenu par une tôle de fer) et de découvrir lequel est le plus rapide à sécher. et emmagasinant la chaleur .Il y a trois chapitres dans cet ouvrage:

Dans le premier chapitre, nous avons traité du concept de gisement solaire, où nous avons défini le soleil, son mouvement, le mouvement de rotation de la Terre et découverte du rayonnement solaire. Ensuite, nous avons traité le transfert de chaleur pendant le séchage, et enfin nous avons découverte du gisement solaire en Algérie.

Comme pour le deuxième chapitre, nous avons traité des concepts de capteurs solaires et de séchoirs. Dans un premier temps, nous avons défini les capteurs et mentionné leurs types, puis nous avons introduit les concepts de séchoirs solaires en mentionnant leurs types et enfin abordé la définition du stockage d'énergie et mentionnant les types de chaque stockage .

Au troisième chapitre , nous présenterons notre séchoir et discuterons de toutes ses parties et de son fonctionnement, nous présenterons le produit à sécher, discuterons de ses caractéristiques et de ses utilisations, puis expliquerons notre expérience.

Enfin, dans le quatrième chapitre, nous présenterons les résultats de l'expérience en courbes graphiques, et nous analyserons et discuterons ces résultats et extrairons le résultat de cette expérience.

CHAPITRE

I

GISEMENT SOLAIRE

I.1 Introduction

Le soleil est la source de toute vie sur la planète. Son énergie nous atteint à travers l'espace sous forme de rayonnement électromagnétique, qui nous éclaire, nous réchauffe et révoque l'expansion des plantes. Cette énergie est gratuite, disponible et silencieuse, Elle est également propre (non polluante).[2] L'énergie solaire produite par la Terre, en revanche, représente environ 15000 fois la consommation énergétique mondiale annuelle estimée.

La différence de rayonnement solaire avec le temps est importante et a un impact direct sur les besoins énergétiques pour les applications des systèmes solaires. À cette fin, il est important de comprendre le panneau solaire à l'emplacement, ainsi que divers paramètres du soleil tels que les heures de lever et de coucher du soleil, ainsi que la trajectoire du soleil dans le ciel pendant la journée, nous permettent de mieux capturer le pré-dimensionnement du champ[3].

Nous présentons une analyse bibliographique de l'énergie solaire et des notions sur ces aspects géométriques, thermiques et énergétiques, ainsi que les différents modes de transfert de chaleur dans un capteur solaire plat, dans ce chapitre.

I.2 Soleil

Le soleil est une sphère de plasma (matière complètement ionisée) [4], et c'est le site de réactions thermonucléaires exothermiques qui convertissent les noyaux d'hydrogène en noyaux d'hélium avec une émission d'énergie qui produit un rayonnement électromagnétique avec des longueurs d'onde allant de 10-10 à 104 mètres. Dans le tableau, les caractéristiques les plus importantes du soleil sont répertoriées.

Diamètre (km)	1 392 000
Masse (kg)	2.10^{30}
Surface (km ²)	$6,09.10^{12}$
Volume (km ³)	$1,41.10^{18}$
Masse volumique moyenne (kg/m ³)	1408
Vitesse (km/s)	217
Distance du centre de la voie lactée (km)	$2,5.10^{17}$

Tableau I.1 Caractéristiques principales du soleil [5].

I.3 Mouvement de la terre autour de soleil

La planète tourne autour du soleil sur une orbite elliptique quasi circulaire d'une longueur de 365,25 jours, et le plan de cette orbite est connu sous le nom de plan écliptique. La planète est la plus proche du soleil (147 millions de kilomètres) au solstice d'hiver (21 décembre) et la plus éloignée (152 millions de kilomètres) au solstice d'été (21 juillet), avec une distance moyenne de 149,5 millions de kilomètres.[6]

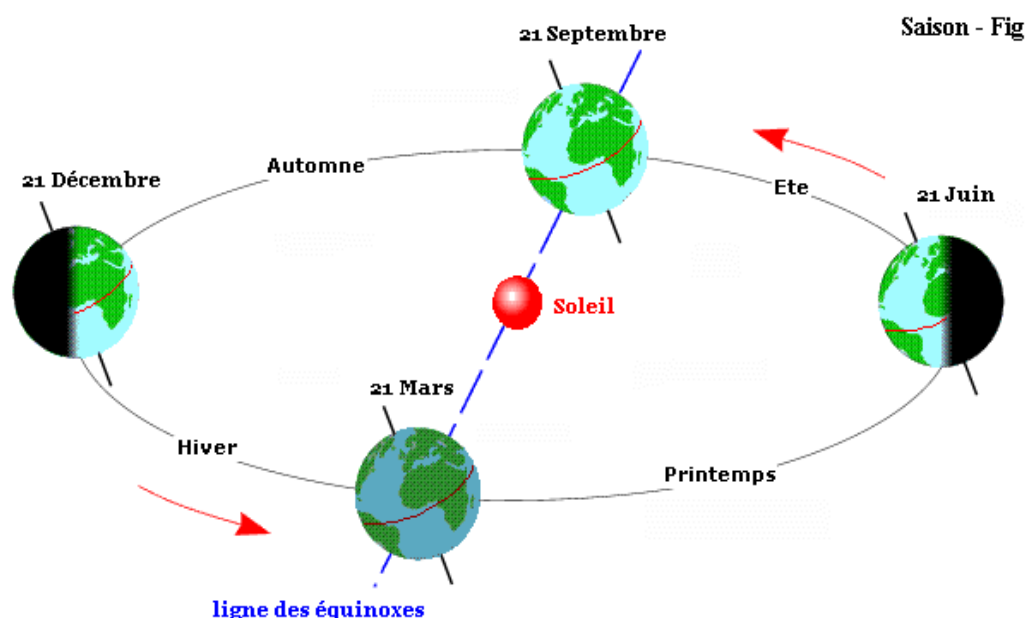


Fig I.1 La mouvement de la terre[6]

De plus, l'axe de rotation de la terre [7] représente un angle de $23,45^\circ$ par rapport au plan de l'écliptique et n'est influencé que par la translation lors de la rotation de la terre autour du soleil. La déclinaison est l'angle entre le plan de l'équateur terrestre et le plan de l'écliptique, et elle varie de $-23,27^\circ$ le 22 décembre (solstice d'hiver) à $+23,27^\circ$ le 22 juin (solstice d'été). Changements dans l'importance du rayonnement solaire;

Seasonal climatic phenomena are caused by these two forms of rotation [7]:

- Douce journée;
- Hauteur maximale du soleil au-dessus de l'horizon;

I.4 RAYONNEMENT SOLAIRE

Le rayonnement électromagnétique [8] émis par le soleil est l'expression externe des interactions nucléaires qui ont lieu dans le noyau du soleil, ainsi que de

toutes les interactions secondaires qui existent dans son enveloppe. Il représente presque toute l'énergie du soleil.

Le rayonnement solaire[8] a de nombreuses caractéristiques, dont la plus importante est la constante solaire, qui est une donnée fondamentale qui n'est pas affectée par les conditions météorologiques.

La température de la surface du soleil, 5900 K, détermine la distribution spectrale de son rayonnement. La forme de la distribution spectrale du rayonnement solaire réel à l'extérieur de l'atmosphère est illustrée à la figure (I,2).[2]

Par rapport à un corps noir [2] à 5900K, nous pouvons voir que le soleil se comporte de la même manière.

Ces spectres indiquent que le soleil émet un rayonnement électromagnétique dans une bande allant de 0,2 m (ultraviolet) à 10 m (lumière visible) (infrarouge). Ce rayonnement est constitué principalement de:

- Lumière visible avec des longueurs d'onde de 400 nm à 800 nm;
- Rayonnement infrarouge (IR) avec des longueurs d'onde inférieures à 400 nm;
- Rayonnement ultraviolet (UV) avec des longueurs d'onde supérieures à 800 nm.

L'énergie véhiculée par ce rayonnement correspond à un éclairage de 1340 W / m² mesuré sur un an et sur toute la limite supérieure de l'atmosphère. Selon un bilan énergétique, environ 1000 W / m² de la quantité de lumière que le soleil fournit au système terrestre et atmosphérique est réfléchi vers l'espace, tandis que le reste est absorbé.[9]

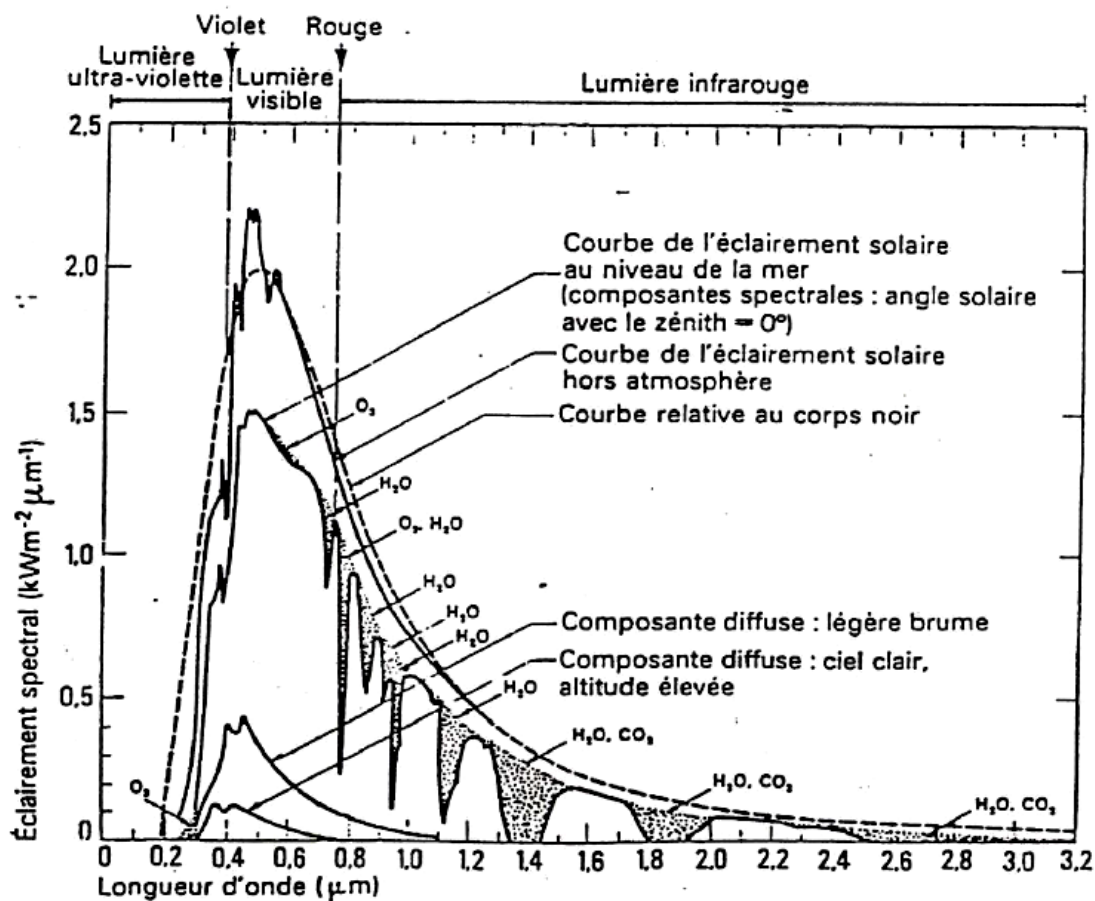


Fig I.2 Spectre solaire (d'après W. Palz, Solar Electricity, UNESCO, Butterworths, 1978).

En traversant l'atmosphère, le rayonnement solaire est absorbé et diffusé. Sur le terrain, [3] il y a plusieurs éléments:

a. Rayonnement direct

Il est obtenu directement du soleil, sans être diffusé par l'atmosphère, et ses rayons sont parallèles les uns aux autres, formant des ombres et permettant aux mérorias de le focaliser

b. Rayonnement diffus.

Il est composé de lumière diffusée par l'environnement (air, nébulosité, aérosols). La diffusion est un phénomène qui provoque la division d'un faisceau parallèle en une série d'autres faisceaux qui se déplacent dans toutes les directions à travers le ciel.

c. Albédo

Est le composant que le sol reflète. Cela dépend de l'atmosphère du site. La neige, par exemple, réfléchit un grand nombre de rayons lumineux, tandis que l'asphalte n'en réfléchit presque pas. Lors de l'évaluation du rayonnement sur un plan incliné, cela doit être pris en compte..

d. Rayonnement global

Tout rayonnement solaire qui frappe une surface horizontale du globe terrestre, qui est la somme des deux composantes (diffuse + directe), est appelé rayonnement solaire. S'il y a une portion verticale de rayonnement solaire direct, il est utilisé, ainsi que le rayonnement solaire diffus (du ciel et des nuages). Les longueurs d'onde de ces rayonnements sont souvent faibles.

Le rayonnement solaire incident émis par le soleil sur une surface donnée est égal à la quantité de rayonnement solaire direct et diffus sur la terre. On peut écrire la relation suivante:[10]

$$RG = D + I \sin h \quad (1.1)$$

D'où:

RG: le rayonnement solaire global,

D: le rayonnement solaire diffus,

I: le rayonnement solaire direct,

h: la hauteur du soleil,

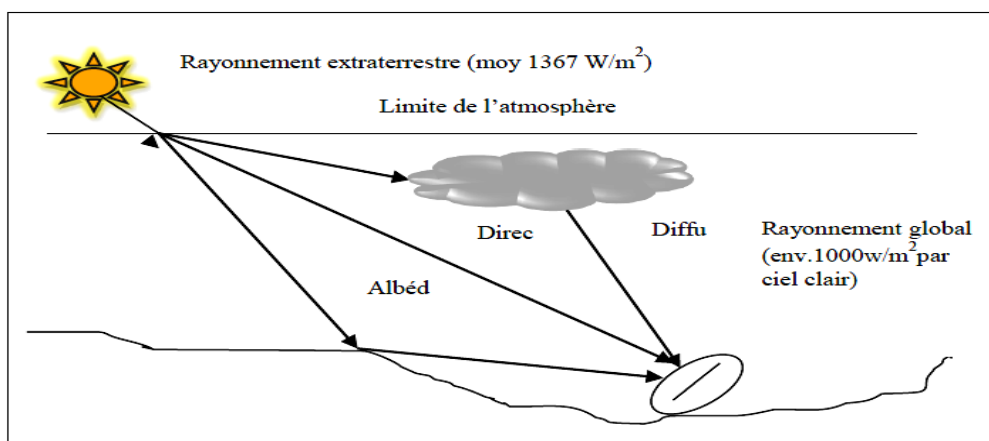


Fig I.3 Composantes du rayonnement solaire au sol [4].

I.5 Constante solaire

La quantité cumulative d'énergie envoyée par le soleil au bord de l'atmosphère terrestre sur une unité de surface perpendiculaire au rayonnement solaire est appelée ainsi.[11]

La variation de la constante solaire suit la relation suivante:[12]

$$C = I_0 1367 (1 + 0,034 \cos[0,986(n - 2)]) \quad (1.2)$$

C : la constante solaire

$I_0 = 1353 \text{ W/m}^2$ est la valeur moyenne de la constante solaire actuellement retenue.[13]

n: le numéro du jour de l'année.

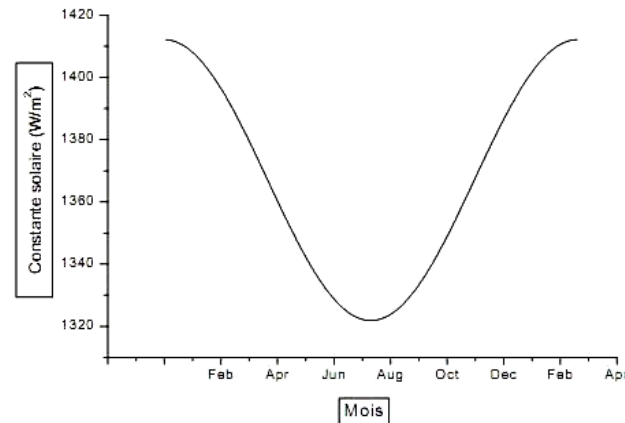


Fig I.4 Variation mensuelle de la constante solaire.

I.6 Transferts de chaleur

L'abaissement de la pression dans la chambre contenant le produit peut être utilisé pour vaporiser le solvant présent dans le produit à sécher. Dans la plupart des cas, cependant, la vaporisation est réalisée à l'aide d'une source d'énergie externe. La chaleur est transférée de trois manières pendant le séchage: La convection est le processus de transfert de chaleur d'un endroit à un autre. - radioactivité: ceux-ci peuvent être utilisés séparément ou en combinaison.

I.6.1 Séchage par convection

Il s'agit probablement du mode de transfert d'énergie le plus courant lors du séchage. Il s'agit de mettre un gaz (air) en contact avec un corps à sécher, qui peut être sous forme de particules, de gouttelettes, de films ou de plaques, et s'écoule dans un régime typiquement turbulent 9. L'équation suivante régit cette forme de transfert : [14]

$$Q = \alpha A (T_a - T_s) \quad (1.3)$$

Q (W) : la vitesse à laquelle la chaleur est transférée dans une unité de temps,

A (m²): surface d'échange,

($T_a - T_s$) (K) : la différence de température entre le gaz de séchage (air) et la température de surface du produit à sécher,

α (W / m²· K) : coefficient d'échange de convection

L'application de cette formule au séchage nécessite les observations suivantes:

La surface d'échange fournie par le produit séché n'est pas toujours bien décrite. Dans le cas de solides granulaires avec des tailles de particules non homogènes, un diamètre moyen de particules est déterminé.

Selon la formule (3), étant donné que la surface de transfert est élevée, la quantité d'énergie transférée au produit à sécher est augmentée. En conséquence, l'amélioration du séchage nécessiterait de réduire la taille des particules du produit. Cela facilitera également la diffusion de l'humidité à la surface de la particule.

Le long du séchoir, la distance ($T_a - T_s$) n'est pas constante. En effet, au fur et à mesure que la température du produit augmente lors du séchage, la température des gaz de séchage diminue.

Lorsque la différence de température entre le gaz et le produit augmente, le temps de séchage diminue en général. Cependant, la valeur de la différence est limitée par la sensibilité thermique du produit (définie comme la température maximale qu'il peut supporter), en particulier vers la fin du processus de séchage.

Le coefficient d'échange α peut être calculé en utilisant des relations de nombres sans dimension qui prennent en compte les propriétés à la fois du gaz de séchage et de la marchandise à sécher.

$$Nu = \alpha d_p / \lambda_a \quad (1.4)$$

λ_a : la conductivité thermique de l'air,

Grâce à la relation $Nu = C Re^m Pr^n$

Re : le nombre de Reynolds,

Pr : le nombre de Prandtl, égal à 0,7 dans le cas de l'air,

C : une constante ajustée expérimentalement,

m : proche de 0,8 et n de 0,5.

Puisque **Re** est proportionnel à la vitesse de l'air à travers le sécheur, son élévation augmente Nu, et donc le coefficient α ; cependant, cette vitesse est limitée par le risque d'entraînement inutile du produit hors du sécheur.

I.6.2 Séchage par conduction

L'énergie thermique nécessaire au séchage est fournie par un contact direct entre le produit et une paroi chauffée, plutôt que par un gaz se déplaçant à travers le produit à sécher. Les vapeurs produites par le séchage sont soit aspirées (séchage par

ébullition) soit entraînées par un gaz de purge dont le débit est souvent inférieur à celui nécessaire au séchage par convection. [14]

Plus la surface d'échange thermique est grande, plus le gradient de température entre la paroi et le produit est faible.

The thermal flux (in W/m²) is calculated using the following formula:

$$\frac{Q}{A} = -\lambda \frac{dT_s}{dL} \quad (1.5)$$

Avec

λ (W / m·K) : conductivité thermique de la pellicule de produit ou de gaz à travers laquelle s'effectue le transfert,

$\frac{dT_s}{dL}$: Gradient de température entre la paroi chaude et le produit.

I.6.3 Séchage par rayonnement

Dans ce mode de séchage, l'énergie nécessaire à l'évaporation est transmise par rayonnement. [14]

Cette méthode de séchage est particulièrement efficace pour éliminer l'eau, en particulier lorsque le produit à sécher n'est pas sensible à la chaleur.

Les émetteurs de gaz, les émetteurs électriques ou le soleil peuvent tous produire des sources chaudes.

La loi de Stephan Boltzmann définit la quantité de chaleur Q (en watts) transmise au produit à sécher par unité de temps:

$$Q = A_1 C \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] \varphi \quad (1.6)$$

$$C = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{A_1}{A_2} \left(\frac{1}{\varepsilon_2} - 1 \right)} \quad (1.7)$$

T1 (K) température de la source émettrice,

T2 (K) température du produit,

A1 (m²) surface du corps recevant le rayonnement,

A2 (m²) surface de l'émetteur d'infrarouge,

φ facteur complexe tenant compte de la position relative de l'émetteur et du produit (lorsque l'émetteur entoure le produit, on a φ = 1),

ε1 émissivité du produit à traiter,

ε2 émissivité de l'émetteur,

σ constante de Stephan Boltzmann (**σ = 5,673 × 10⁻⁸ w / m²·k⁴**).

I.7. Transfert de masse et les différentes étapes de séchage d'un produit humide

Seule l'eau, l'un des liquides les plus couramment évaporés, sera discutée dans le paragraphe suivant. Cependant, les mécanismes qui seront mentionnés s'appliquent également à d'autres solvants (séchage des peintures par exemple).

I.7.1 Transport d'humidité des parties profondes du produit vers sa surface

La plupart des corps séchés peuvent être imaginés comme constitués d'une matrice continue, probablement interrompue localement, dans le cas d'un solide, par des pores pouvant s'ouvrir à la surface de ce dernier. L'humidité peut être trouvée sur la surface extérieure du produit, dans les pores ou même à l'intérieur de la surface du matériau. la figure 5. [13]

La vaporisation de l'eau nécessite un apport d'énergie au produit séché à partir d'une source externe. L'eau migre vers l'atmosphère environnante en même temps. La vitesse à laquelle ce matériau est transféré change au fil du temps. Elle dépend des conditions ambiantes (température, humidité relative et vitesse des gaz en contact avec le produit), ainsi que de la nature du solide.

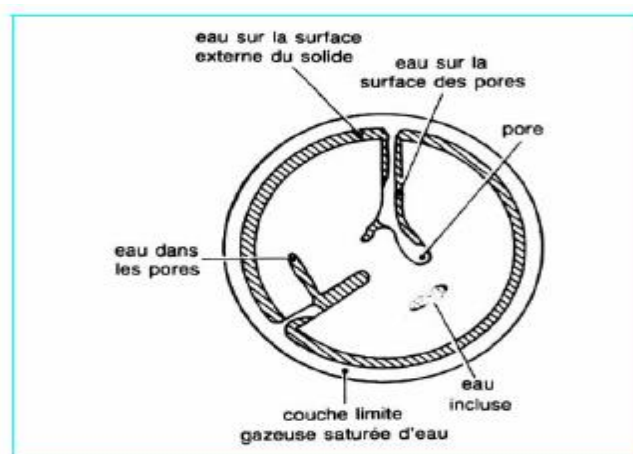


Fig I.5 Représentation schématique d'un solide humide.

I.7.2 Obtention des courbes de séchage et interprétation

La courbe de séchage d'un produit granulaire par entraînement peut être obtenue en le plaçant en couche mince (1 à 3 cm) sur une grille perforée. Il passe un flux d'air chaud dans lequel l'humidité et la température sont régulées et maintenues constantes. La teneur en humidité du produit est mesurée à intervalles réguliers ou même en continu. [14]

On peut obtenir une courbe de séchage en traçant la teneur en humidité du produit n_s (par rapport au matériau anhydre) en fonction du temps t , avec la forme la plus complète (c'est-à-dire lorsque toutes les phases de séchage existent) représentée sur la figure 6 [13].

On voit que la courbe de séchage ainsi décrite comporte différentes sections qui peuvent être mises en évidence plus clairement en utilisant un mode de représentation différent.

On peut obtenir une nouvelle courbe dont la forme est donnée sur la figure 3 en traçant les différentes valeurs de la pente de la courbe $n_s = f(t)$ - donc la vitesse de séchage dn_s / dt - en fonction du temps t [13].

Un autre mode de représentation proposé par Krischer est la vitesse de séchage dn_s / dt en fonction du taux d'humidité n_s , ce qui conduit à la courbe représentée sur la figure 8 [13].

La présence de multiples étapes au cours du processus de séchage est mise en évidence par ces trois formes de représentation. Tous ne sont pas détectables de manière systématique.

Nous les identifions car ils sont identifiables.

- la phase transitoire de mise en température du produit à sécher (AB) ;
- la phase à vitesse de séchage constante (BC) ;
- la phase à vitesse de séchage décroissante (CD).

"C" est le point critique du séchage .

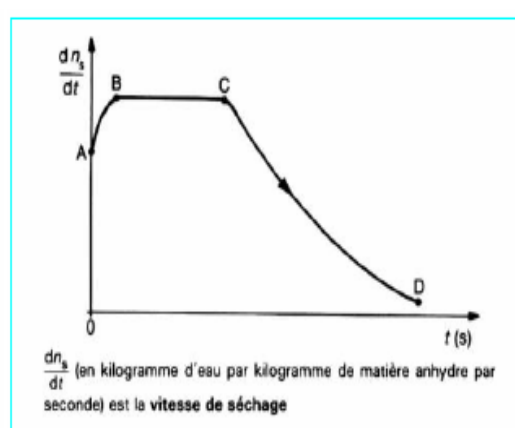
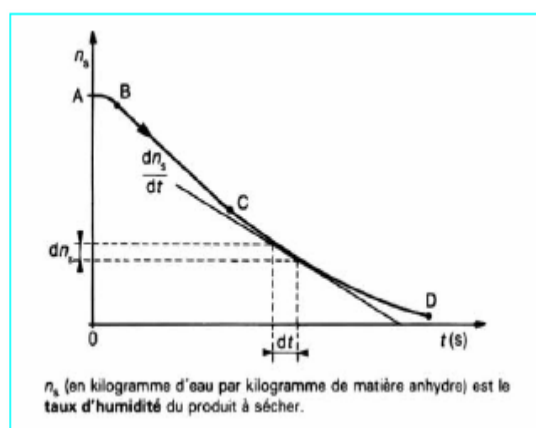


Fig I.6 Courbe de séchage $n_s = f(t)$

Fig I.7 Courbe de séchage $(dn_s/dt) = g(t)$

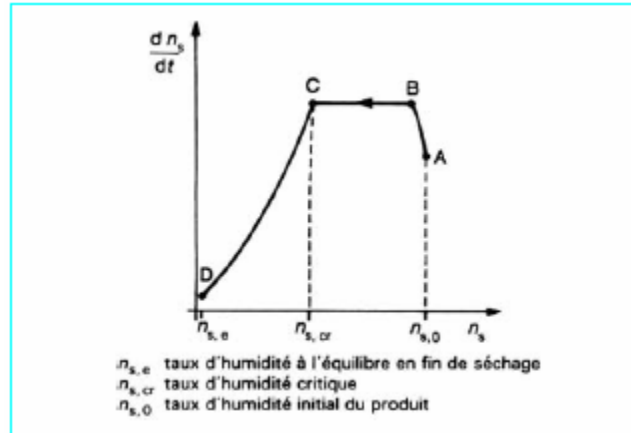


Fig I.8 Courbe de séchage

a. Phase à vitesse de séchage constante

En plaçant un produit granulaire en couche mince (1 à 3 cm) sur une grille perforée, la courbe de séchage par entraînement peut être obtenue. Il passe à travers un flux d'air chaud qui régule et maintient l'humidité et la température. La teneur en humidité du produit est vérifiée à intervalles réguliers ou parfois de manière continue.

fluide de séchage Au cours de ce processus, la nature du solide n'a aucun effet; cependant, la forme du solide peut affecter la vitesse de séchage (en kg d'eau / s), qui est égale à [13],[15]:

$$\frac{dw}{dt} = M \frac{dn_s}{dt} = K_G A (P_s - P_w) \quad (1.8)$$

Avec

M (kg) : masse du produit à sécher,

A (m²) : surface à travers laquelle s'opère le transfert d'humidité,

P_s (Pa): pression de vapeur d'eau à la température T à la surface du solide pendant la phase à vitesse constante, cette pression est égale à la pression de vapeur saturante à la température du solide ou température humide,

P_w (Pa): pression partielle de la vapeur d'eau dans l'air,

K_G (s/m) : coefficient global de transfert de matière.

Même pour les produits avec une humidité initiale extrêmement élevée, l'étape de vitesse de séchage constante n'est pas toujours perceptible (produits végétaux, produits carnés). La raison en est que les parois cellulaires obstruent le mouvement rapide de l'humidité vers la surface du produit.

A constant exchange surface A is also taken into account in the above equations. This isn't always the case.

Beaucoup de choses, comme les gels, les produits biologiques et le papier, rétrécissent en séchant.

b. Phase à vitesse de séchage décroissante

Au fur et à mesure que ce dernier se produit, cette étape lui succède à rythme constant. Le niveau d'humidité critique n_s , c_r est le niveau d'humidité auquel la vitesse de séchage commence à diminuer. Elle n'est pas toujours visible et, lorsqu'elle l'est, elle dépend des conditions de séchage.

A cette période de séchage, on pense que le transfert d'eau dans le produit n'est plus assez rapide pour saturer le film gazeux qui le recouvre. Un front de vaporisation est formé dans des matériaux poreux, qui se déplace lentement à l'intérieur du matériau à sécher. La pression à la surface de la substance diminue à mesure que la vapeur d'eau a un chemin de plus en plus important à parcourir.

La diffusion de l'eau dans les matériaux non poreux est également un facteur de ralentissement de la vitesse de séchage.

La diminution de la vitesse de séchage peut également être expliquée par une diminution de la diffusivité de l'eau au fur et à mesure que le produit sèche, ainsi que par une croûte potentielle du produit. Dans le même temps, les facteurs extérieurs au produit perdent leur impact au cours de ce processus.

Croûtage : formation d'une pellicule sèche autour du produit ou des particules qui le constituent, cette pellicule s'opposant au transfert d'humidité vers le milieu extérieur.

Pour clarifier le mouvement de l'eau à l'intérieur des corps à sécher (comme mentionné précédemment), deux mécanismes clés ont été proposés:

- la diffusion ;
- la migration capillaire.

I.8 Gisement solaire en Algérie

L'Algérie possède un potentiel solaire considérable, suffisamment important pour les applications à basse température. En effet, l'ensoleillement annuel moyen est estimé à 2000 heures, avec un ensoleillement moyen de 6,57 kWh / m² / jour. Avec un territoire constitué à 86% du désert saharien et de par sa position géographique, l'Algérie possède le plus grand champ solaire du monde [Capderou, 1987][16]. Cependant, l'exploitation et la transformation de cette énergie inépuisable nécessitent une combinaison d'efforts de connaissance, de compréhension, de maîtrise et de

création de bases de données accessibles à l'exploitation par les différents secteurs concernés. Connaître les variables météorologiques influençant le processus de séchage solaire en Algérie aide grandement à choisir le bon emplacement pour le processus de séchage solaire et peut réduire considérablement la consommation d'énergie.

En effet, le potentiel d'énergie renouvelable de l'Algérie a fait l'objet de nombreuses études, dont celles de [Himri et al., 2009][17]; [Himri et al., 2012][18], qui a mesuré et analysé le potentiel éolien de l'Algérie, a fourni des indicateurs utiles aux spécialistes de l'énergie éolienne, et [Chellali et al., 2011][19], qui a mis à jour la carte des vents algériens. De manière générale, ce travail profite aux exploitants d'énergie éolienne, et aucun opérateur ne pourra démarrer un autre projet d'énergie renouvelable en Algérie sans avoir au préalable reçu ces informations, mais des variables météorologiques autres que la vitesse du vent, telles que le rayonnement solaire, la température et l'humidité relative de l'air, ont un impact sur les systèmes d'énergie renouvelable, en particulier le processus de séchage solaire, et ne sont pas abordés. Autres travaux [Mefti et al., 1999][20]; [Youcef Ettoumi et al][21], 2002; [Mefti et al., 2003][22]; [Mefti et al., 2008][23] s'intéresse particulièrement au gisement solaire algérien [Yaiche et al, 2013][24] mis en place par le Centre de développement des énergies renouvelables (CDER) qui ne présente qu'une irradiation solaire scientifiquement validée * [Yaiche et al, 2014 +][25], à notre connaissance, il n'y a pas de travail disponible pour la température de l'air et l'humidité relative.

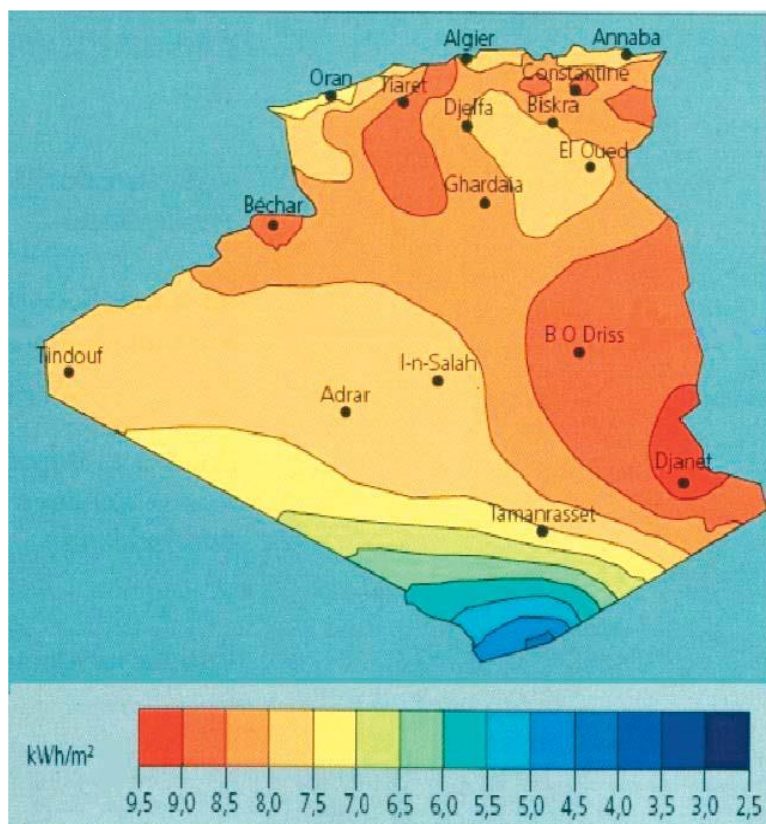


Fig I.9 Le rayonnement solaire en Algérie.

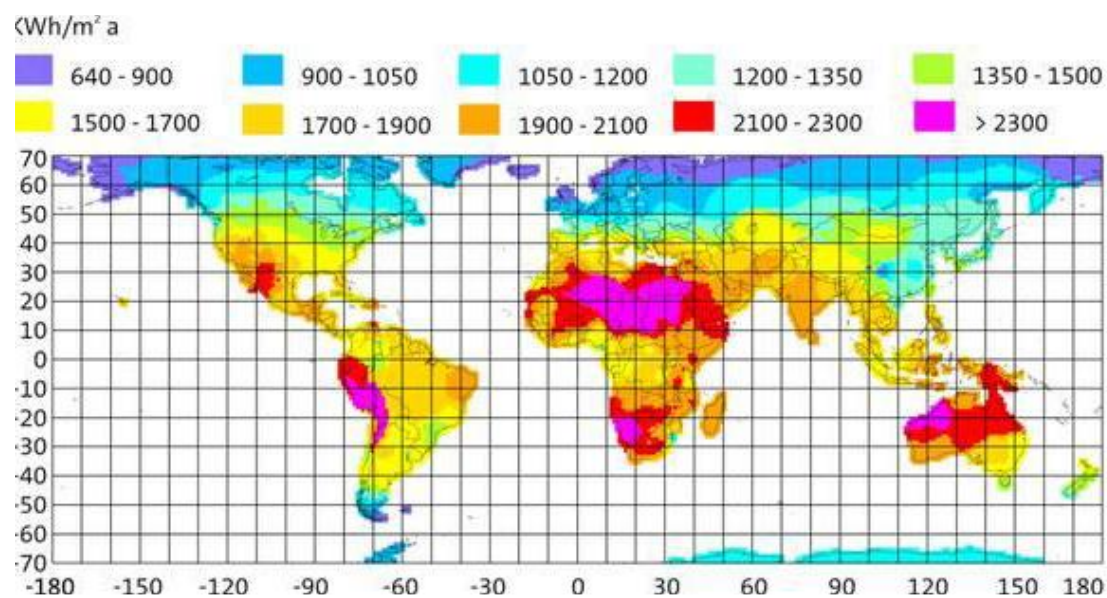


Fig I.10 répartition rayonnement solaire à travers le monde

I.9 Conclusion

Pour un observateur terrestre, la connaissance des mouvements et des emplacements du soleil permet de mettre à jour les principales caractéristiques du site en matière de lumière solaire et d'énergie solaire.

L'estimation du rayonnement solaire obtenu sur Terre nécessite une connaissance approfondie des paramètres météorologiques d'un site spécifique. Les stations radiométriques calculent ces paramètres.

Les mesures du rayonnement solaire global, du rayonnement direct et diffus, de la période d'ensoleillement et d'autres données telles que la couverture nuageuse, la turbidité atmosphérique, l'humidité, la température, etc. sont toutes incluses dans une base de données standard.

CHAPITRE

II

LES COLLECTEURS ET LES SÉCHOIRS SOLAIRES

Introduction

Les capteurs solaires sont un type spécial d'échangeurs de chaleur qui convertissent l'énergie solaire en énergie interne dans le fluide caloporteur. Le composant principal de tout système à énergie solaire est le capteur solaire. C'est un appareil qui absorbe le rayonnement solaire qui tombe dessus, le transforme en chaleur et transfère cette chaleur au liquide qui le traverse (généralement de l'air, de l'eau ou de l'huile). Et l'énergie solaire collectée et utilisée dans le plusieur processus, chauf d'eau, distillation, chauffage et séchage.

Nous allons etuder dans ce chapitre, les collecteurs solaire et les séchoirs solaires par diffrent types.

Partie 01 : Le collecteurs solaires

II. le collecteurs solaires thermique

II.1 Collecteur solaires avec concentration

a. Concentrateur cylindro-parabolique

C'est, sans aucun doute, le plus connu. Ces usines utilisent des miroirs cylindriques paraboliques d'une surface de à 800 à 100 m² qui focalisent les rayons du soleil sur des tubes montés à l'axe focal du concentrateur et un fluide caloporteur les traversant. Puisqu'il tourne sur un axe, le concentrateur suit la trajectoire du soleil. Le fluide caloporteur, qui est généralement de l'huile synthétique, est chauffé lorsqu'il se déplace à travers les tubes, retournant à la source. [26]

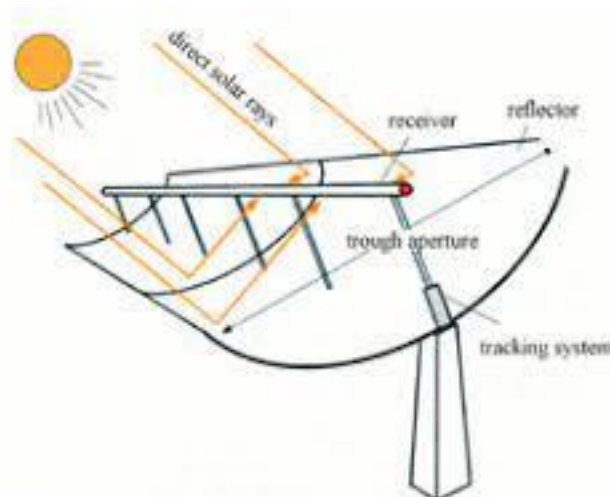


Fig II.1 Concentrateur cylindrique parabolique.

b. Concentrateur parabolique

Les collecteurs solaires à plat, ou collecteurs à focalisation ponctuelle, sont une autre forme de capteur solaire à concentration qui utilise des miroirs ou des lentilles pour réfléchir et concentrer optiquement l'énergie solaire incidente du soleil sur une petite zone de réception. Avec chaque miroir ou lentille servant de loupe, la puissance de l'énergie solaire réceptrice est amplifiée plusieurs fois[27].



Fig II.2 Concentrateur parabolique.[42]

a. Les Cheminée solaire

Ils sont similaires aux installations Themis et ont gagné en popularité dans le sud de l'Espagne. La centrale solaire PS20 de la région de Séville, illustrée à la figure 6, a été achevée en 2009 et a une capacité de 20 Mwc. Il occupe 0,8 km² et compte 0,15 km² de panneaux de 120 m². La tour mesure 165 mètres de haut, les panneaux les plus éloignés doivent donc être espacés. La production annuelle d'électricité devrait être de 48 GWh. Le fluide est de l'eau à 250-300 C, et il n'y a pas de stockage de chaleur (une heure, mais cela aussi peut être remplacé par du gaz naturel). [28]

Le prix n'est pas défini, mais il y a une subvention de 1,6 million d'euros et l'électricité est vendue pendant 25 ans au coût de 271 euros par MWh.



Fig II.3 La centrale à tour 20 MW de Abengoa.

Nous pouvons augmenter la température, ce qui permet une meilleure efficacité thermodynamique et un stockage de chaleur plus facile, car il peut y avoir plusieurs milliers (1255 ici) de miroirs, et donc nous avons un indice de concentration plus élevé. Cela explique pourquoi les sels fondus peuvent être utilisés comme fluide de transfert de chaleur / stockage d'énergie (généralement des nitrates).

Cependant, nous pouvons être choqués d'apprendre que ce n'est pas le cas. Il y a certainement des problèmes technologiques qui n'ont pas été réglés. En théorie, la température de la source chaude dans ce type de système peut être élevée à environ 1000 C, ce qui permet des installations à haut rendement (telles que des générateurs hybrides à turbine à gaz / turbine à vapeur). Il y a certainement trop de problèmes de tolérance des matériaux à ces températures élevées, ainsi que trop de pertes dans de tels environnements, que ce soit en raison du rayonnement lors de l'absorption de la lumière ou du transfert de chaleur.



Fig II.4 Centrale à tour 125 MW de Solaire brillant.

Il n'y a pas beaucoup de grands projets de centrales à tour en cours actuellement, à l'exception d'un à Ivanpha, en Californie, dont l'ouverture est prévue en 2013 et qui a une capacité de 370 MWc et une empreinte de 16 km². Le coût de construction est inconnu (> 2,1 milliards de dollars?), Mais le projet a reçu une garantie de prêt de 1,6 milliard de dollars de l'État américain. Trois usines de tour, comme celle représentée sur la figure, composent ce projet massif.

Il est un peu difficile de trouver des détails sur cette initiative, et à la demande si elle n'a pas été bouclée rapidement pour profiter de la manne gouvernementale de 1,6 milliard de dollars. Il devrait générer 1 TWh par an, avec un coefficient de remplissage de 33%. (2 900 heures par an en équivalent pleine puissance). En moyenne, cela équivaut à 7,7 W par m². Le coût semble être supérieur à 5,6 \$ / Wp. La température du fluide (eau) serait de 550 degrés Celsius, avec une pression de 160 bars, permettant des rendements de conversion chaleur-électricité de près de 50%, plutôt que les 30 à 35% typiques de ces appareils.

II.2 Collecteur solaires sans concentration

a. Collecteur solaires plats

Jusqu'à 95% de la lumière solaire disponible est absorbée par la couche absorbante, qui est ensuite convertie en chaleur utilisable pour la production d'eau chaude. Le capteur solaire thermique à plaque plate est idéal pour les projets de chauffage solaire de l'eau dans les environnements résidentiels et commerciaux. Le collecteur à plaques plates a un profil bas (profil de 80 mm / 3,15 ") qui, combiné à une isolation en mousse de mélamine ultralégère, en fait l'un des collecteurs à plaques plates les plus légers du marché. [29]

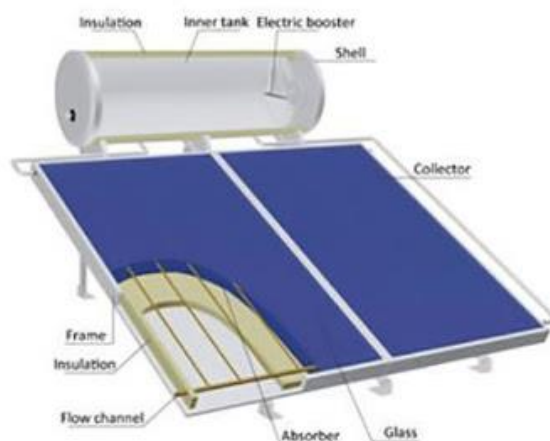


Fig II.5 capteur solaire plat.

Partie 02: Les séchoirs solaires

II.1 Différents types de séchoirs solaire

Les sécheurs sont connus comme des sécheurs naturels, des sécheurs direct et des sécheurs indirects en fonction de la façon dont ils utilisent le rayonnement solaire [SECAAR]. L'air de séchage peut être mis en circulation par convection forcée ou par convection naturelle dans l'un ou l'autre de ces types de séchoirs. Les sécheurs sont appelés sécheurs solaires actifs lorsque le flux d'air est à convection forcée. Ils sont appelés flux de convection naturelle lorsque le flux est causé par la convection naturelle

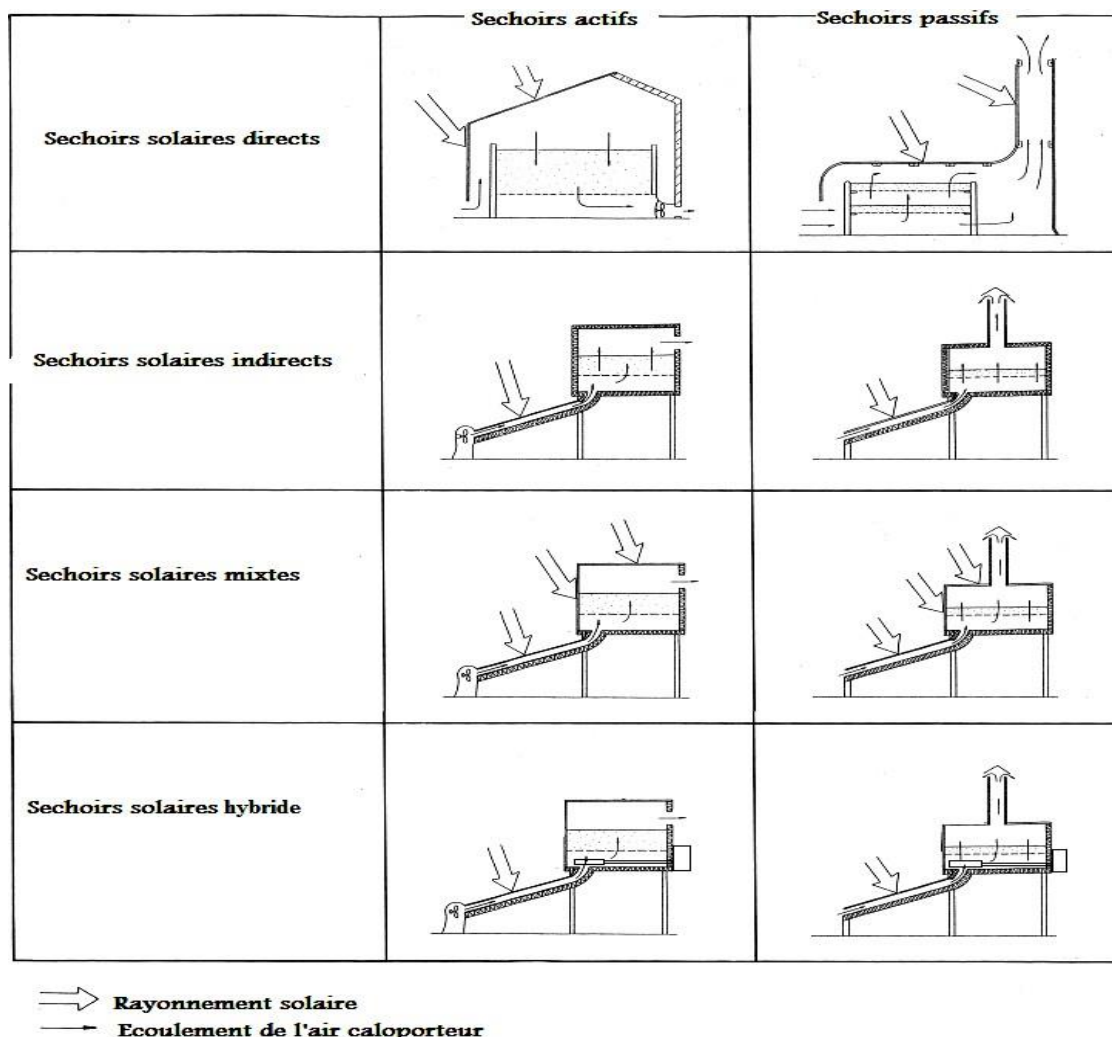


Fig II.6 Différents types de séchoirs solaire Différents types de séchoirs solaire

a. Séchoirs naturels

Les articles sont distribués sur des étagères ou des tapis, dans des berceaux, ou même au sol, où ils sont directement exposés au soleil et à l'air. (L'idée du séchage à l'air est simple: la lumière du soleil tombe sur la surface de la culture et une partie de l'énergie est renvoyée dans l'environnement) (Figure.2.7). [Souheyla., 2018].[30]

Ces séchoirs sont peu coûteux, mais ils nécessitent une intervention humaine constante, comme la sécurité des produits ou la collecte en cas de pluie, des mélanges fréquents pour éviter la surchauffe de la couche supérieure et une homogénéisation pour permettre à la couche inférieure de sécher.

Cette forme de séchoir est couramment utilisée dans les communautés paysannes pour résoudre le problème du stockage temporaire des marchandises avant de les vendre ou de les consommer.

Cependant, il présente des inconvénients, notamment la perte de produit mal séché ou ruiné lors du remuage, l'épuisement des vitamines A et C en raison de l'exposition directe au soleil, la dégradation due aux intempéries et aux ravageurs (insectes, rats, poussières) et la dégradation due aux intempéries. et ravageurs (insectes, rats, poussières).

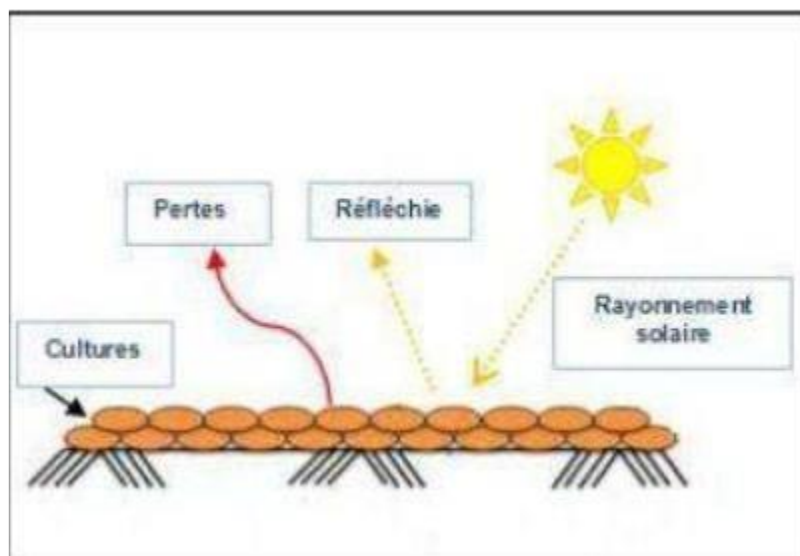


Fig II.7 Principe de séchage à l'air libre [Souheyla, 2018].

Tableau II.1 Avantages et des inconvénients du les séchoirs naturels:

Les avantages	Inconvénient
<ul style="list-style-type: none"> • Il s'agit d'une méthode de séchage qui ne nécessite l'utilisation d'aucun équipement spécial. • C'est un processus à basse température et à séchage lent qui produit du bois avec peu de stress. • Il utilise une source d'énergie gratuite: le soleil. 	<ul style="list-style-type: none"> • La méthode ne permet pas des niveaux d'humidité inférieurs à 13 à 17 pour cent. • Il faut beaucoup de temps pour immobiliser le bois. • Les insectes et les champignons ont le potentiel d'envahir le bois.

b. Séchoirs solaires directs

Les rayons du soleil touchent directement le produit dans ces séchoirs. Ils sont simples et se composent d'une seule pièce qui sert à la fois de chambre de séchage et de capteur solaire. Selon le produit et le volume à sécher, ces séchoirs peuvent

prendre une variété de formes. Le type le plus populaire est un séchoir solaire, qui a une surface transparente qui est inclinée à un angle spécifique en fonction de l'emplacement et est généralement orientée sud (figure 2,8). La chaleur est produite par le produit absorbant le rayonnement solaire qui traverse la surface transparente qui recouvre la chambre de séchage. [2018, Souheyla].

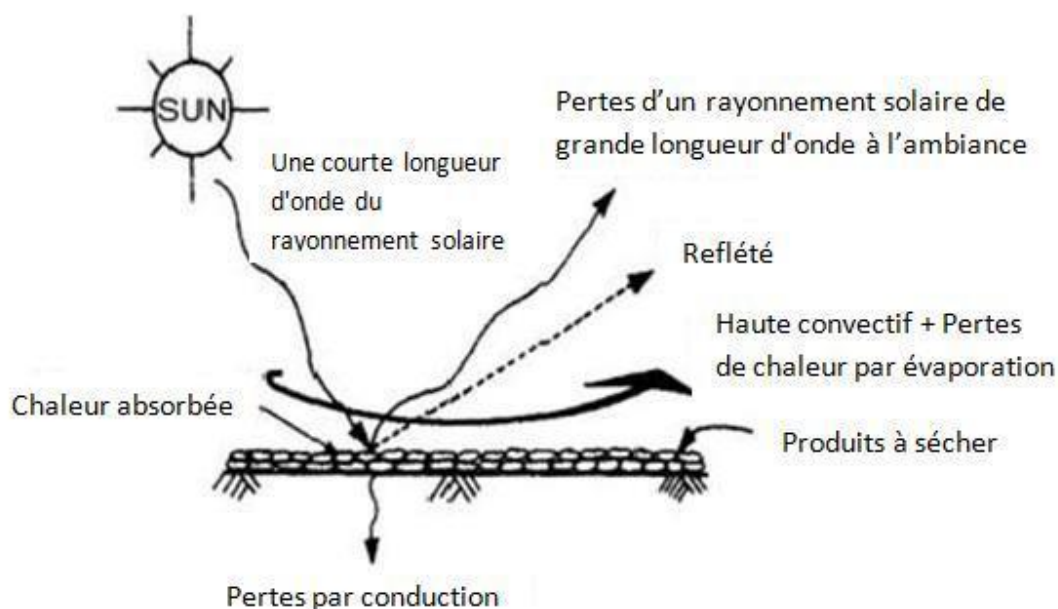


Fig II.8 Le principe d'un séchoir solaire direct. [Souheyla, 2018].

Tableau II.2 Avantages et inconvénients du séchoir solaire direct :

Les avantages	Inconvénient
<ul style="list-style-type: none"> • Par rapport au séchage conventionnel, cette méthode offre une meilleure protection contre la poussière, les insectes, le bétail et la pluie. • Il n'y a aucune exigence de main-d'œuvre qualifiée. 	<ul style="list-style-type: none"> • À la fin du processus de séchage, utilisez une température élevée. • Les rayons UV du soleil oxydent les vitamines A et C. • Les légumes verts jaunissent. • Une mauvaise circulation de l'air ralentit le processus de séchage et augmente le risque de développement de moisissures.

c. Séchoirs solaires indirect

Les produits à sécher ne sont pas directement exposés au rayonnement solaire dans les séchoirs solaires indirects. Ils sont également à l'abri de la lumière, garantissant ainsi la préservation des valeurs nutritionnelles des aliments. Les sécheurs indirects sont constitués de deux composants principaux: un capteur solaire et une chambre de séchage (Figure 2,9). Le capteur solaire est généralement un module séparé qui se connecte à la chambre de séchage pendant l'exposition au soleil et est incliné pour optimiser la collecte de l'énergie solaire. Il est composé d'une surface vitrée sur le dessus et d'une surface absorbante qui est normalement noire. L'air est chauffé dans le capteur solaire avant d'être soufflé dans la chambre de séchage, où la chaleur est transférée de l'air au produit et la masse est transférée du produit vers l'air pendant le processus de séchage. Le processus de séchage se fait par air. [2018, Souheyla].

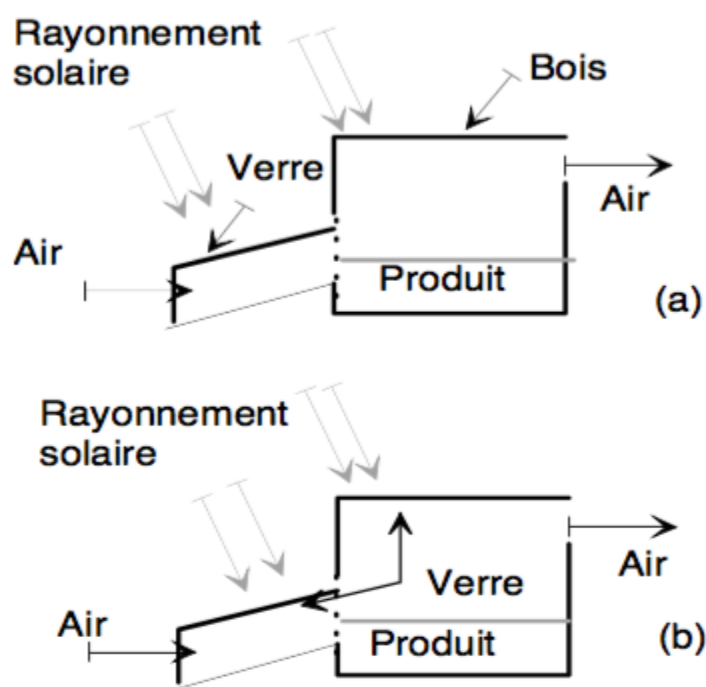


Fig II.9 Le principe d'un séchoir solaire indirect. [Souheyla, 2018].

Tableau II.3 Avantages et des inconvénients d'un séchoir solaire indirect:

Les avantages	Inconvénient
<ul style="list-style-type: none"> • La substance ne doit pas entrer en contact avec la lumière directe du soleil. Il garde sa couleur et sa valeur nutritionnelle plus longtemps (en particulier les vitamines A et C). • Il peut être possible d'installer ces types de séchoirs localement à moindre coût. • Leur service ne nécessite pas l'utilisation d'électricité ou de combustibles fossiles. 	<ul style="list-style-type: none"> • La vitesse de séchage varie considérablement en fonction des conditions météorologiques et de la configuration du sèche-linge. l'utilisation de combustibles fossiles. • Les tissus en polyéthylène sont fragiles et doivent être remplacés régulièrement.

d. Séchoirs solaires passifs

Une boîte de séchage est le nom de cette forme de séchoir. La théorie de ce type de séchoir est représentée sur la figure. Le couvercle transparent réfléchit une partie du flux solaire incident, tandis que le reste est transféré vers le sécheur. Les produits à sécher reflètent une partie du flux solaire transmis à l'intérieur du séchoir, tandis que le reste est absorbé par ces produits et les matériaux qui composent les parois du séchoir. En conséquence, leurs températures augmentent, entraînant l'émission d'un flux de chaleur de grande longueur d'onde pour lequel la transmissibilité de la couverture est limitée. L'effet de serre est ce qui fait cela. De plus, la couverture transparente réduit les pertes de chaleur par convection avec l'environnement environnant .[Aumporn,2017].[31]

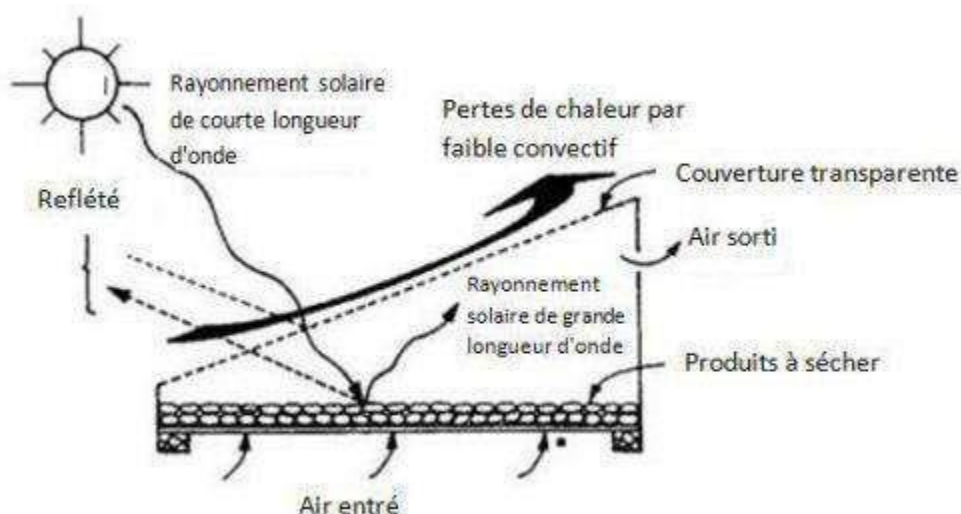


Fig II.10 Principe du séchoir solaire fonctionnant en mode direct à convection naturelle [Aumporn,2017].[31]

e. Séchoirs solaires actifs

L'air de séchage circule dans le sécheur à l'aide d'un ventilateur dans cette forme de sécheur. En conséquence, le contrôle du débit d'air permet d'éviter la surchauffe du produit et de raccourcir le temps de séchage. Cette forme de séchoir est illustrée à la figure I. [2017, Aumporn].[31]

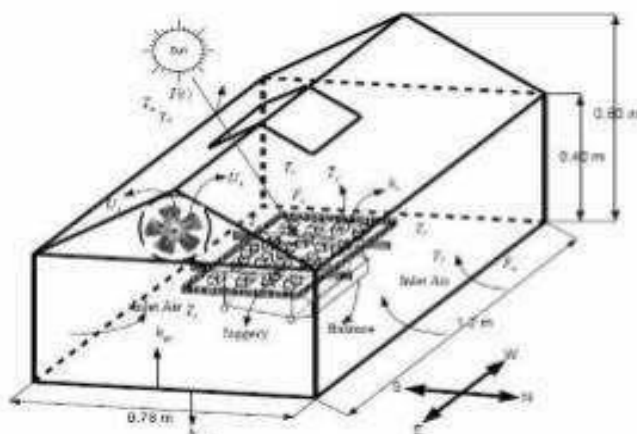


Fig II.11 Exemple de séchoir solaire de mode direct à convection forcée [Aumporn, 2017].[31]

f. Séchoirs solaires hybrides

Ces séchoirs utilisent une énergie supplémentaire (fioul, électricité, bois, etc.) en plus de l'énergie solaire pour assurer un haut degré de chauffage ou de ventilation de l'air. Dans ce scénario, l'énergie solaire a été utilisée pour préchauffer l'air. Ces systèmes plus coûteux sont généralement utilisés pour des applications à grande échelle ou des

applications industrielles de séchage et de séchage solaires où la qualité et le débit du produit fini sont affectés par les conditions climatiques.

Voici les méthodes de séchage les plus couramment utilisées dans l'industrie:

Le séchage par air chaud ou séchage 'traditionnel'

- g. La vapeur surchauffée est utilisée pour sécher le tissu.
- h. La pompe à chaleur sert à sécher les vêtements.
- i. Dans une chambre chaude, le matériau sèche.
- j. Séchage sous vide

Les deux dernières méthodes de séchage sont notamment utilisées pour sécher le bois.

[Touati., 2017] [32]

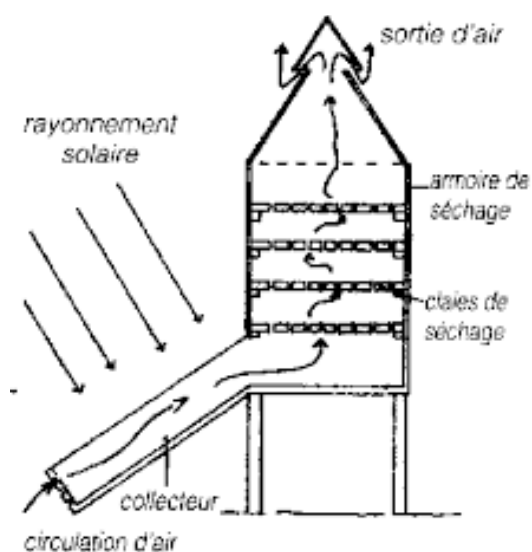


Fig II.12 Principe de séchoir solaire hybride

Tableau II.4 avantages et des inconvénients d'un séchoir solaire hybride

Les avantages	Inconvénient
<ul style="list-style-type: none"> • Tarifs postaux basés sur les conditions météorologiques. • Meilleur contrôle du séchage. 	<ul style="list-style-type: none"> • Coûts de production et d'investissement élevés. • Besoin d'approvisionnement local en carburant, électricité, pièces de rechange.

k. Séchoirs solaires mixtes

Les concepts de séchage direct et indirect sont combinés dans ces sécheurs. Les marchandises sont soumises à une combinaison de rayonnement solaire direct et d'air chauffé dans un capteur sous la chambre de séchage. Des films en verre ou translucides sont utilisés pour recouvrir les surfaces supérieures de la chambre de séchage et du collecteur dans les sécheurs hybrides (figure 2,13). [Souheyla, 2018].

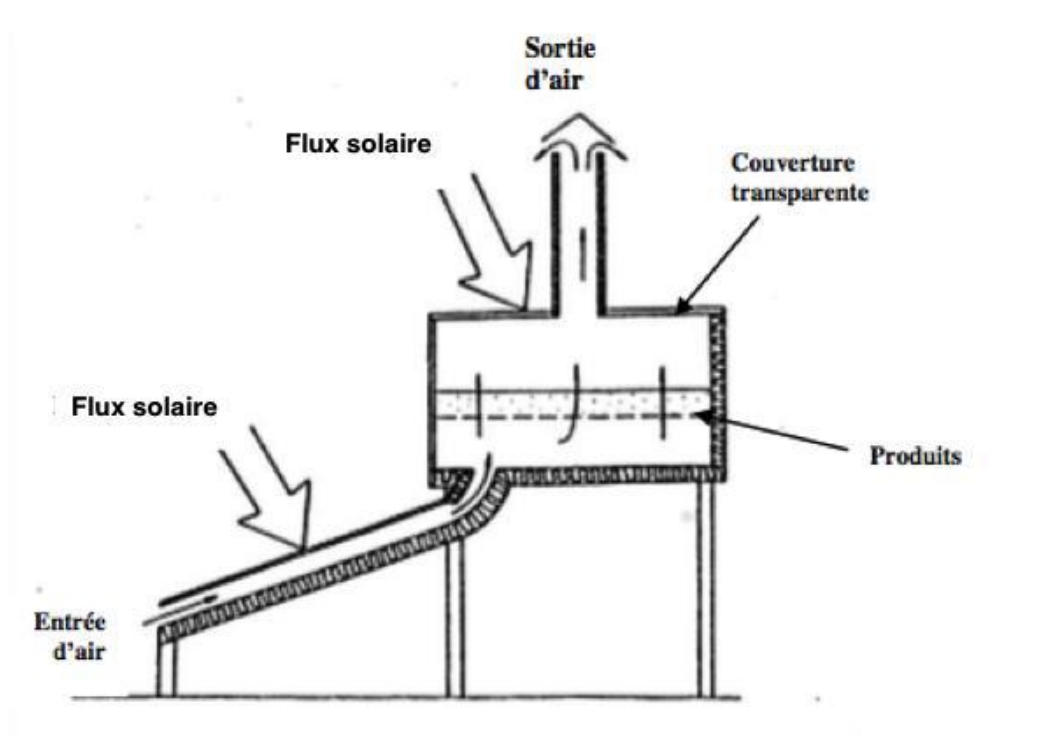


Fig II.13 principe d'un séchoir solaire mixte [Souheyla.,2018].

Partie 03: stockage d'énergie

1. Introduction

Les MCP , ou matériaux à déphasage, sont des éléments qui stockent la chaleur latente lors de la fusion et la libèrent lors de la solidification tout en maintenant la température constante[33.34] . Ces matériaux ont une densité de stockage d'énergie élevée et peuvent maintenir une température constante lorsqu'ils absorbent et libèrent de la chaleur pendant la fusion et la solidification [34]. Le domaine de la gestion thermique et des systèmes d'énergie solaire pour les bâtiments et les serres a suscité cet intérêt.

2. MODE de stockage d'énergie

Les différents types d'énergie qui peuvent être stockés comprennent l'énergie mécanique, électrique et thermique [35]

a. Stockage d'énergie mécanique

Le stockage d'énergie gravitationnelle, également connu sous le nom de stockage hydroélectrique par pompage (PHPS), de stockage d'énergie par air comprimé (CAES) et de volants d'inertie, sont des dispositifs de stockage d'énergie mécanique. PHPS et CAES peuvent être utilisés pour le stockage d'énergie utilitaire à grande échelle, tandis que les volants d'inertie sont meilleurs pour le stockage intermédiaire. Le stockage est effectué lorsqu'une alimentation hors pointe à faible coût est disponible, comme la nuit ou le week-end. Étant donné que l'alimentation de l'installation de base est insuffisante, le stockage est déchargé lorsque l'énergie est nécessaire.

b. Stockage électrique

Le stockage d'énergie par batterie est un choix viable pour stocker l'énergie électrique. Lorsqu'une batterie est chargée en la reliant à une source de courant électrique continu, l'énergie chimique stockée est convertie en énergie électrique lorsqu'elle est déchargée. La puissance hors pointe, le nivellement de la charge et le stockage de l'énergie électrique produite par les éoliennes ou les centrales photovoltaïques sont toutes des utilisations possibles des batteries. Les batteries au plomb et Ni – Cd sont les types de batteries de stockage les plus populaires.

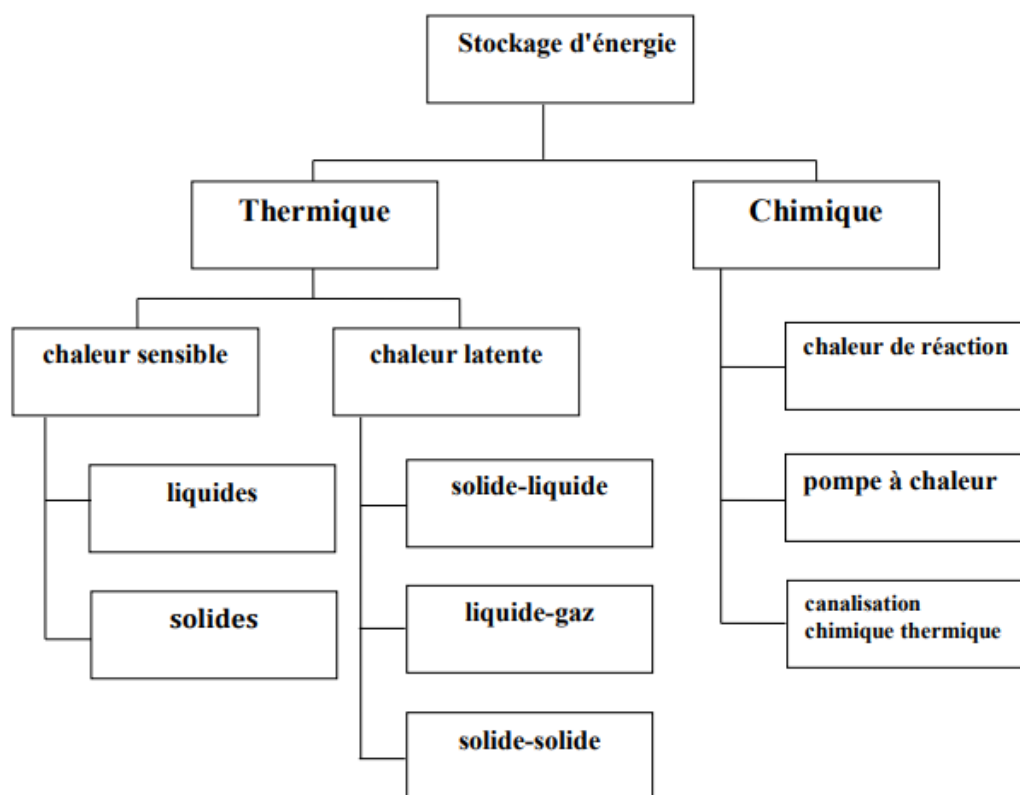


Fig II.14 Différents types de stockage thermique et chimique de l'énergie solaire.

c. Stockage d'énergie thermique

L'énergie thermique peut être stockée sous forme de déplacement de l'énergie interne d'un matériau sous forme de chaleur sensible, de chaleur latente ou d'énergie thermochimique

- **Stockage de chaleur sensible**

L'énergie thermique est conservée dans le stockage de chaleur sensible (SHS) en augmentant la température d'un solide ou d'un liquide. Pendant les processus de charge et de décharge, le dispositif SHS utilise la puissance thermique et le changement de température du matériau. La quantité de chaleur stockée est déterminée par la chaleur spécifique du fluide, les changements de température et la quantité de matériau de stockage disponible. [36]

$$Q = \int_{T_I}^{T_F} mc_P dt = mc_P(T_F - T_I) \quad (2.1)$$

Le tableau montre le potentiel de stockage de chaleur sensible de divers matériaux solides-liquides. Comme elle est peu coûteuse et a une chaleur spécifique élevée, l'eau a tendance à être le meilleur liquide SHS disponible. Les huiles, les sels

fondus et les métaux liquides, entre autres, sont utilisés au-dessus de 100 ° C. Les matériaux de stockage des lits rocheux sont utilisés pour les applications de climatisation.

Tableau II.5 Une liste de matériaux solides-liquides sélectionnés pour le stockage de chaleur sensible :

Moyen	Type de fluide	Plage de température (C°)	Densité (kg / m3)	Chaleur spécifique (J / kg K)
Rocheux		20	2560	879
Brique		20	1600	840
Béton		20	1900–2300	880
L'eau		0 – 100	1000	4190
Calories HT43	Huile	0 – 260	867	2200
Huile moteur	Huile	Jusqu'à 160	888	1880
Éthanol	Liquide organique	Jusqu'à 78	790	2400
Propanol	Liquide organique	Jusqu'à 97	800	2500
Butanol	Liquide organique	Jusqu'à 118	809	2400
Isotunaol	Liquide organique	Jusqu'à 100	808	3000
Isopentane	Liquide organique	Jusqu'à 148	831	2200
Octane	Liquide organique	Jusqu'à 126	704	2400

• Stockage de chaleur latente

L'absorption de chaleur par une substance lors d'une transition de l'état solide à l'état liquide à une température plus ou moins constante est à la base du stockage de chaleur latente [2010, Laghzaoui].[37]

La chaleur latente d'un matériau étant beaucoup plus élevée que sa puissance thermique, le stockage de chaleur latente nécessite moins d'espace que le stockage de chaleur sensible (tableau 6). La relation suivante peut être utilisée pour calculer la

quantité de chaleur solaire transférée en mode latent avec un matériau à changement de phase (MCP) [Lane, 1983]:.[38]

$$Q = \int_{T_i}^{T_m} mc_p dt + ma_m \Delta L_f + \int_{T_i}^{T_f} mc_p dt \quad (2.2)$$

Avec

m = masse du MCP (kg)

Cp = chaleur spécifique du MCP (J.kg-1.K-1)

L_f = enthalpie de fusion du MCP (J)

T_i, T_f, T_m = température initiale, de fusion et finale respectivement (K)

Tableau II.7 Tableau comparatif des avantages et des inconvénients du stockage de chaleur par chaleur sensible et par chaleur latente:

	Stockage par chaleur latente	Stockage par chaleur sensible
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> • Dès le début de la transition de phase, la température du matériau reste constante. 	<ul style="list-style-type: none"> • À bas prix • Sans toxicité • Puissance thermique plus élevée
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> • Prix élevé • La conductivité thermique est mauvaise. 	<ul style="list-style-type: none"> • Il y a des pertes thermiques entre l'intérieur et l'extérieur du système, ce qui nécessite une bonne isolation.

Il existe un grand nombre de MCP, chacun avec une plage de température de fusion et de solidification différente. Ils sont utilisés pour le stockage de chaleur dans une variété d'applications, y compris la serre solaire. [Berroug et al., 2011]. [39]

• Stockage thermochimique

L'énergie consommée et libérée lors de la décomposition et de la reconstitution des molécules dans une réaction chimique complète est ce qui rend possible le stockage thermochimique. La quantité d'énergie stockée est

proportionnelle à la quantité de contenu de stockage et à la chaleur endothermique présente.

$$Q = a_r m l_f \quad (j) \text{ [Goswami et al., 1999] .[40]} \quad (2.3)$$

Où

a_r = fraction de produit de réaction

l_f = quantité de la chaleur massique mise en jeu lors de la réaction (J/mol)

m = masse (kg)

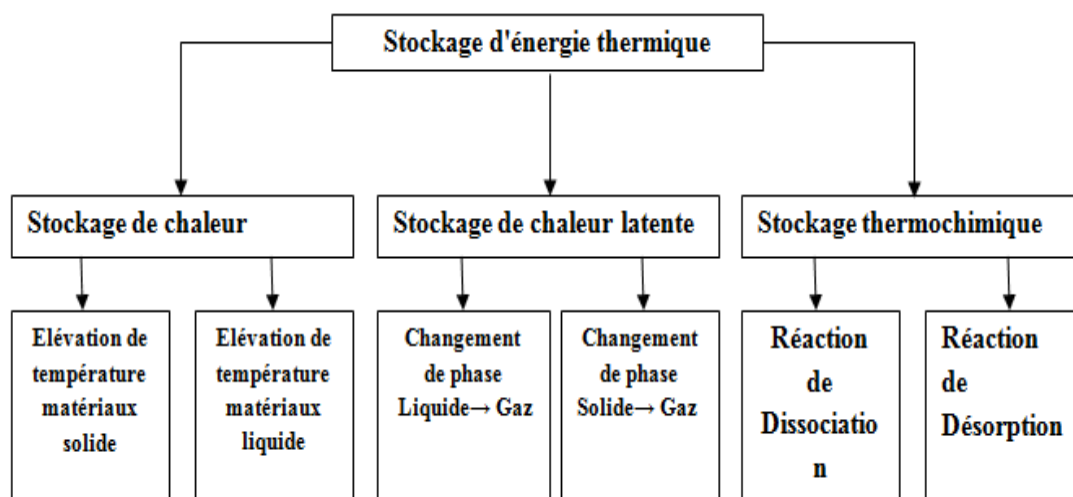


Fig II.15 Différents types de stockage thermique de l'énergie solaire.

3. Classification MCP

Les MCP sont divisés en trois catégories: organiques, inorganiques et eutectiques ,Ce segment explique brièvement les principales distinctions, avantages et inconvénients.

a. MCP organiques

Il y a eu plusieurs études prometteuses sur les matériaux de stockage de chaleur latente organique dans diverses applications, y compris le chauffage des locaux, le refroidissement des appareils électroniques, les systèmes de réfrigération, le chauffage solaire, les voitures, la transformation et le stockage des aliments et les industries spatiales (Sharma et al., 2009)[41]. Les MCP organiques ont l'avantage de n'avoir aucune séparation de phase et une chaleur latente de fusion continue. Les MCP organiques ont un point de fusion bas, ce qui leur permet d'être utilisés dans des applications à basse température. Étant donné que les MCP organiques ont une faible conductivité thermique, une plus grande surface est nécessaire pour fournir le taux de transfert de chaleur requis.

b. MCP inorganiques

Les hydrates de sel et les matériaux à changement de phase métalliques sont les deux principaux types de matériaux à changement de phase inorganiques (Sharma et al., 2009)[41]. Ces matériaux ont une densité de chaleur latente volumétrique élevée, une stabilité cyclique et une conductivité thermique relativement élevée. Les hydrates de sel, en revanche, sont vulnérables à la séparation de phases et au sous-refroidissement. Étant donné que les sels inorganiques sont si corrosifs, le conteneur doit être fait de matériaux de haute qualité, ce qui augmente le coût.

c. MCP eutectiques

Un MCP eutectique est un mélange d'au moins deux composants organiques-organiques, organiques-inorganiques ou inorganiques-inorganiques dans lequel chaque composant change de phase de manière congruente et cristallise en un mélange cristallisé avec des points de fusion et de congélation fixes. Pendant la fusion et la congélation, la ségrégation de phase ne se produit pas dans les MCP eutectiques. Ils gèlent en un mélange soudé de cristaux et fondent en même temps, sans séparation (Sharma et al., 2009).[41]

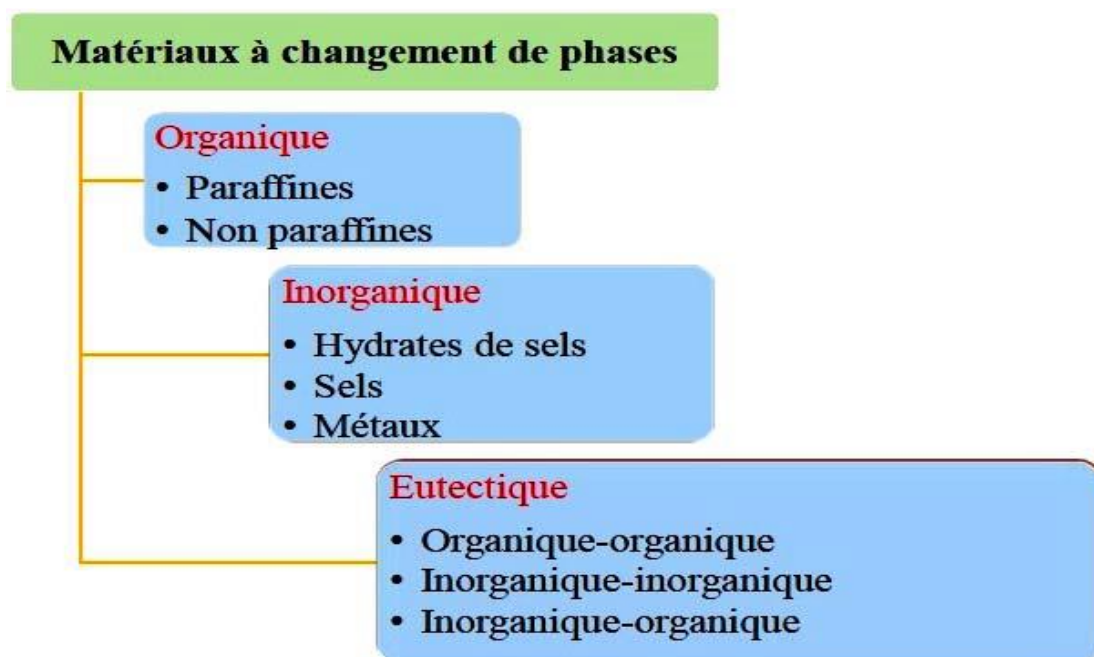


Fig II.16 Classification des matériaux à changement de phase.

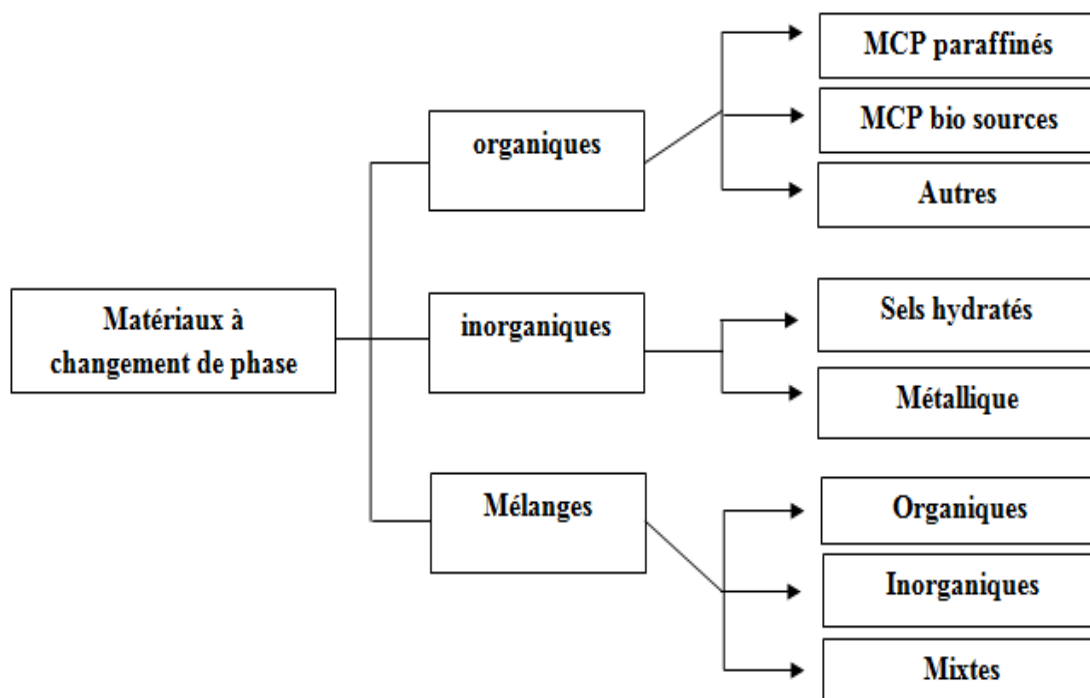


Fig II.17 Classification de MCP.

Conclusion

Nous concluons dans ce chapitre que les séchoirs solaires sont classés en quatre types: les séchoirs solaires directs, les séchoirs solaires indirects et les séchoirs solaires hybrides. séchoirs solaires avec une conception hybride et une combinaison de séchoirs solaires Et il existe deux groupes de collecteurs: là où le séchage des produits agricoles est soumis au mode sécheur et sous forme de collecteur, les capteurs solaires photovoltaïques et les capteurs solaires thermiques (collecteurs planaires, collecteurs de concentration) sont utilisé .

CHAPITRE

III

DESCRIPTION DU SYSTÈME

ÉTUDE

III.1 Introduction :

Dans ce chapitre, nous décrirons le système de séchage solaire, où l'expérience et notre séchoir solaire, son fonctionnement, les étapes que nous avons abordées et les obstacles que nous avons traversés seront expliqués.

III.2 Description du notre séchoir

Il s'agit d'un séchoir solaire passif qui contient trois collecteurs différents (collecteur soutenu avec de la coupeau d'acier, collecteur soutenu par pierre silex du Biskra et collecteur soutenu par une tôle de fer) de mêmes dimensions et de mêmes tailles. Il contient une buse circulaire par le bas, d'où sort un tube d'un diamètre de 60 mm par le haut, se dirigeant vers les chambres de séchage, où les chambres de séchage sont de mêmes dimensions et tailles .



Fig III.1 montrant notre séchoir solaire

III.2.1 Les collecteurs :

Nous avons trois collecteurs dans cette expérience, et ils sont :

a. Collecteur soutenu par une tôle de fer

Le collecteur est une boîte en bois de 80 cm de long, 60 cm de large et 15 cm de haut. À l'intérieur, il y a une tôle de fer peinte en noir recouverte d'une plaque de verre sur le dessus et des buses circulaires en bas pour absorber l'air contenant une buse circulaire au-dessus d'un diamètre de 60 mm, comme le montre la figure suivante:



Fig III.2 collecteur soutenu par une tôle de fer.

b. Collecteur soutenu par pierre silex du Biskra

Le collecteur est une boîte en bois de 80 cm de long, 60 cm de large et 15 cm de haut. À l'intérieur, il y a une tôle de fer recouverte pierre silex du Biskra est recouverte d'une plaque de verre en haut et de buses circulaires en bas pour absorber l'air contenant une buse circulaire sur le dessus d'un diamètre de 60 mm, comme le montre la figure suivante:



Fig III.3 collecteur soutenu par pierre silex du Biskra.

c. Collecteur soutenu avec de la coupeau d'acier

Le collecteur est une boîte en bois de 80 cm de long, 60 cm de large et 15 cm de haut. À l'intérieur, il y a une tôle de fer recouverte de la coupeau d'acier est recouverte d'une plaque de verre en haut et de buses circulaires en bas pour absorber l'air contenant une buse circulaire sur le dessus d'un diamètre de 60 mm, comme le montre la figure suivante:



Fig III.4 collecteur soutenu avec de la coupeau d'acier.

III.2.2 Les chambres de séchage

C'est une boîte en bois d'une longueur de 40 cm, d'une largeur de 40 cm et d'une hauteur de 50 cm, et elle contient une buse circulaire du bas jusqu'à 60 mm et une buse en haut de la boîte pour extraire également l'air chaud 60 mm et contient une étagère au milieu pour y placer le produit à sécher comme indiqué sur la figure suivante :



Fig III.5 chambre de séchage.

III.2.3 System de séchage

Le collecteur polarise les rayons du soleil, car l'air entrant se mélange à travers les ouvertures inférieures du récepteur avec la polarisation de la chaleur du côté du soleil, puis l'air chaud à l'intérieur du récepteur se déplace vers le haut où il monte. Il est reçu à travers le tube et de l'air chaud y est balayé directement dans la chambre de séchage. L'air chaud entre par l'ouverture inférieure de la chambre. Il se déplace vers le haut où il passe sur l'étagère où est placé le produit à sécher. Après cela, de l'air chaud sort de la buse supérieure de la chambre.

III.3 Séchage de menthe

III.3.1 Généralité sur la menthe

La menthe poivrée est une plante herbacée lamiacée (famille de la menthe). Il existe plusieurs dizaines d'espèces de menthe dans la famille des Lamiacées, qu'elles soient sauvages ou cultivées. Depuis l'antiquité, il est connu et utilisé dans toute la Méditerranée.



Fig III.6 Représente de la menthe.

III.3.2 Utilisation de menthe

Utilisé à des fins aromatiques (par exemple le thé) ou médicinales. la menthe poivrée, cependant, est l'espèce de phytothérapie la plus largement utilisée. La menthe est une bonne herbe à utiliser si vous avez des flatulences ou un syndrome du côlon

irritable. Il est appliqué sur la peau et aide à soulager l'inconfort musculaire, les maux de tête et les démangeaisons mineures (piqûres de moustiques, eczéma, etc.). Des propriétés digestives, spasmolytiques, carminatives, antibactériennes, toniques et stimulantes seraient présentes. un système digestif sain L'huile essentielle de menthe est également couramment utilisée en aromathérapie, phytothérapie et médecine.

III.3.3 La composition chimique de la menthe:

le tableau apporte une information sur la quantité moyenne les pour 100 g menthe:

Composants	Qté.
Eau	82.8 (g)
Protéines	3.54 (g)
Lipides	0.84 (g)
Acides gras saturés	0.22 (g)
Glucides	5.3 (g)
Sucre	5.3 (g)
Fibres	7.4 (g)

Tableau III.1 La composition chimique de la menthe[43]

III.3.4 Préparation du produit:

Nous avons apporté la menthe et nous avons cueilli les plantes hautes et les grandes feuilles minces des fermes voisines, puis les avons nettoyées manuellement avec de l'eau purifiée pour éliminer les impuretés et les résidus de pesticides, entre autres contaminants.

Enfin, ils sont disposés sur l'étagère de manière à ce que les feuilles restent intactes les unes sur les autres.

III.3.5 Protocole expérimental:

Après avoir préparé le produit (menthe) et l'avoir étalé sur l'étagère de la sécheuse (150 (g) dans l'étagère, où nous mettons une quantité importante de menthe (10 g) dans un petit clip pour mesurer la différence de poids après le poids en l'étagère est entrée dans la chambre de séchage et la mesure est faite de 9.30 AM à 16 PM La mesure est effectuée après chaque période de temps spécifique.



Fig III.7 montrant comment mettre de la menthe dans une chambre de séchage.

La température ambiante, le rayonnement solaire, la température à l'extérieur de la chambre de séchage, la vitesse du vent et le poids du produit sont mesurés toutes les 15 minutes, 20 minutes, 30 minutes, etc. jusqu'à la fin du processus de séchage, puis mesurer le poids du produit, nous renvoyons le produit dans la salle de séchage et couvrons la chambre de séchage d'une pellicule plastique pour maintenir la température.



Fig III.8 montrant comment mesurer le poids du produit.

III.5 Conclusion

Après avoir mené l'expérience, nous avons observé que le diamètre des tubes menant à la chambre de séchage est petit, il ne permet donc pas à toute la chaleur de se transférer dans la pièce, et nous avons également changé les tubes pour d'autres tubes d'un diamètre plus grand que avant. Nous examinerons les résultats dans le chapitre suivant.

CHAPITRE

IV

RÉSULTATS ET DISCUSSION

IV.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous passerons en revue les résultats, en discuterons, analyserons et interpréterons les courbes, et après avoir vérifié nos calculs, ils ont été mesurés de 9:30 à 16:00 le 22 et 25 mai 2021.

IV.2 Variation de teneur en eau en fonction de temps

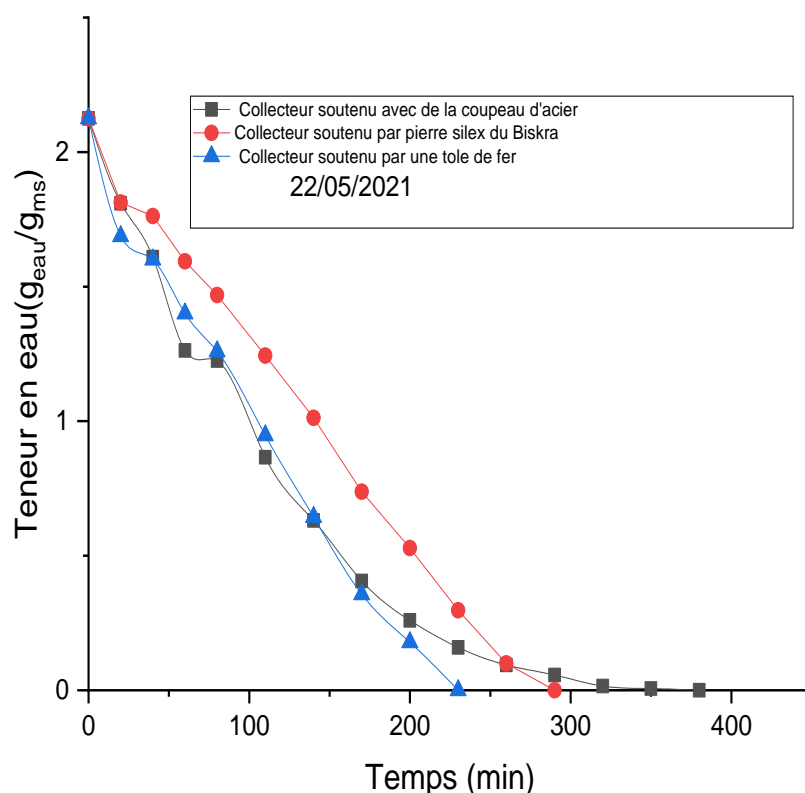


Fig IV.1 Variation de teneur en eau en fonction de temps.

Dans la figure précédente, nous avons observé une diminution de la teneur en eau, et une chute plus rapide du dernier collecteur (un collecteur soutenu par une tôle de fer) par rapport aux autres collecteurs, jusqu'à atteindre presque zéro en 230 minutes, et dans le deuxième collecteur (collecteur soutenu par le silex de Biskra), il a atteint zéro en 290 minutes. Dans le premier collecteur (collecteur soutenu avec de la coupeau d'acier) la teneur en eau a diminué lentement, il a atteint zéro en 380 minutes.

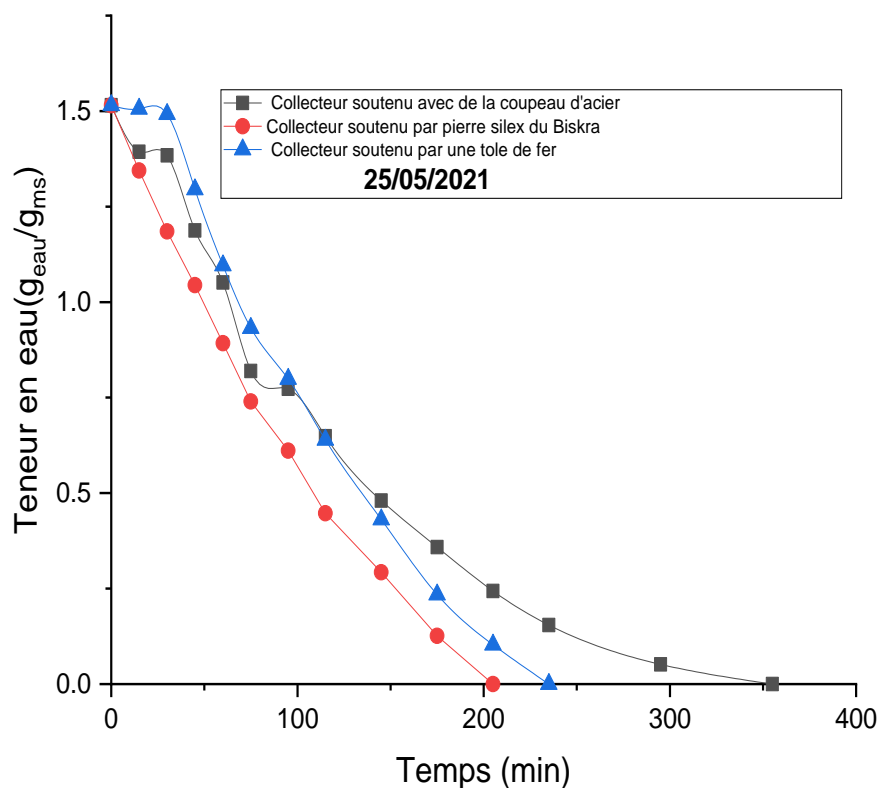


Fig IV.2 Variation de teneur en eau en fonction de temps.

Dans la figure précédente, nous avons observé une diminution de la teneur en eau, et une baisse plus rapide pour le deuxième collecteur (collecteur soutenu par le silex de Biskra) par rapport aux deux autres composés, jusqu'à atteindre presque zéro en 205 minutes, et dans le troisième collecteur (Collecteur soutenu par une tôle de fer), la teneur en eau est tombée à zéro en 235 minutes. et Le premier collecteur (Collecteur soutenu avec de la coupeau d'acier) la teneur en eau a diminué lentement, atteignant zéro en 355 minutes.

IV.3 la température ambiante et radiation solaire en fonction de temps

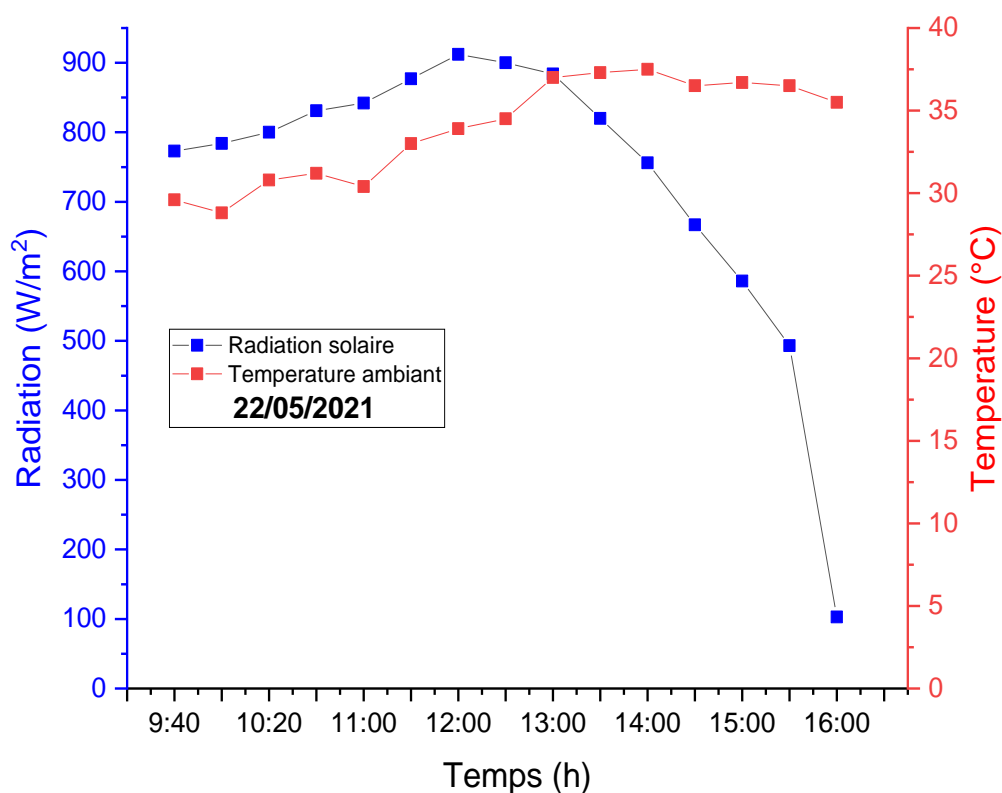


Fig IV.3 variation de la température ambiante et radiation solaire en fonction de temps.

Dans la figure (IV.3), nous avons remarqué qu'il y avait une augmentation de la radiation solaire depuis le début de l'expérience à 9:40 Am, soit 700 (W/m²) pour atteindre 912(W/m²) en 12 :00 pm. Après cela, nous avons vu qu'il y avait une diminution du pourcentage de radiation solaire jusqu'à atteindre 103 (W/m²) en 16 :00 pm .

Nous avons observé qu'il y a une augmentation de la température de l'ambient depuis le début de l'expérience de 29.6 degrés en 9.40 Am pour atteindre 37.5 à 14 :00 pm après cela on remarque une diminution de la température pour atteindre 35 à la 16 :00 pm .

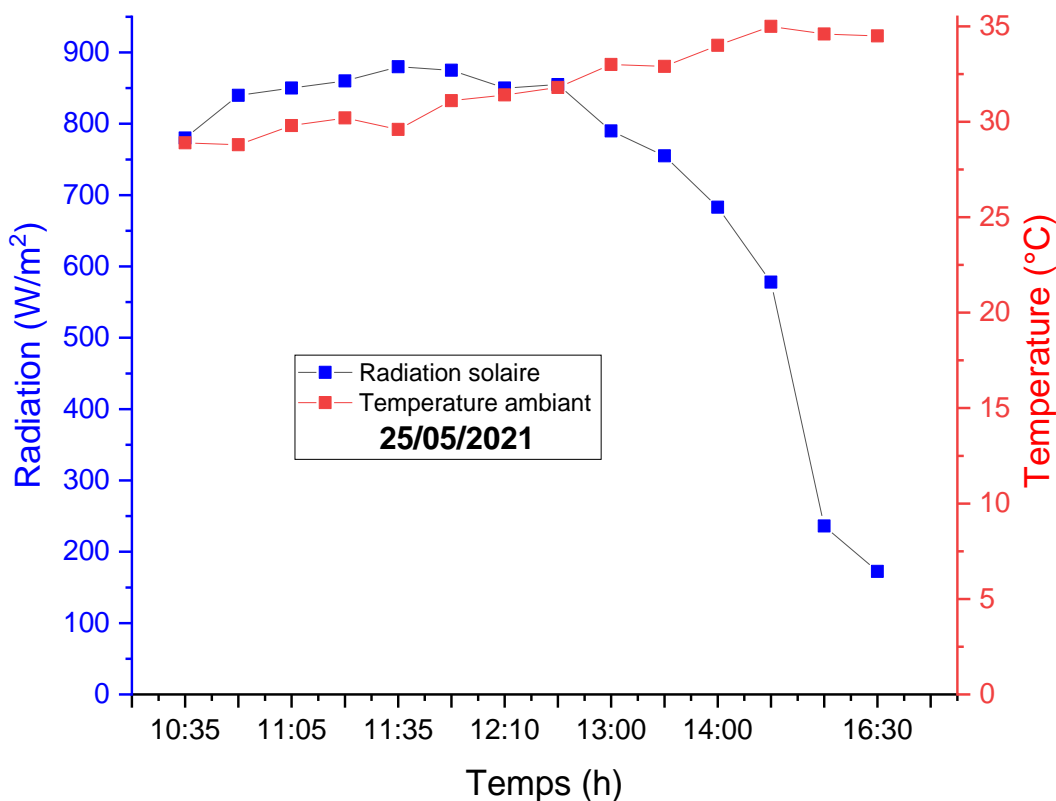


Fig IV.4 Variation de la température ambiante et radiation solaire en fonction de temps.

Sur la figure (IV.4), nous avons observé qu'il y avait une augmentation de la radiation solaire depuis le début de l'expérience à 10 :35 Am , soit $780 \text{ (W/m}^2\text{)}$ pour atteindre $880 \text{ (W/m}^2\text{)}$ en 11.35 Am . Après cela, nous avons vu qu'il y avait une diminution du pourcentage de radiation solaire jusqu'à atteindre $172.5 \text{ (W/m}^2\text{)}$ en 16.30 pm .

Nous avons observé une fluctuation de la température de l'ambient à mesure qu'elle augmente et diminue sur une courte période. Après cela, nous avons assisté à une augmentation continue jusqu'à atteindre 35 degrés à 14 :30 pm , après quoi elle a légèrement diminué jusqu'à atteindre 34.5 degrés à 16 :30 pm .

IV.4 La température de collecteurs en fonction de temps

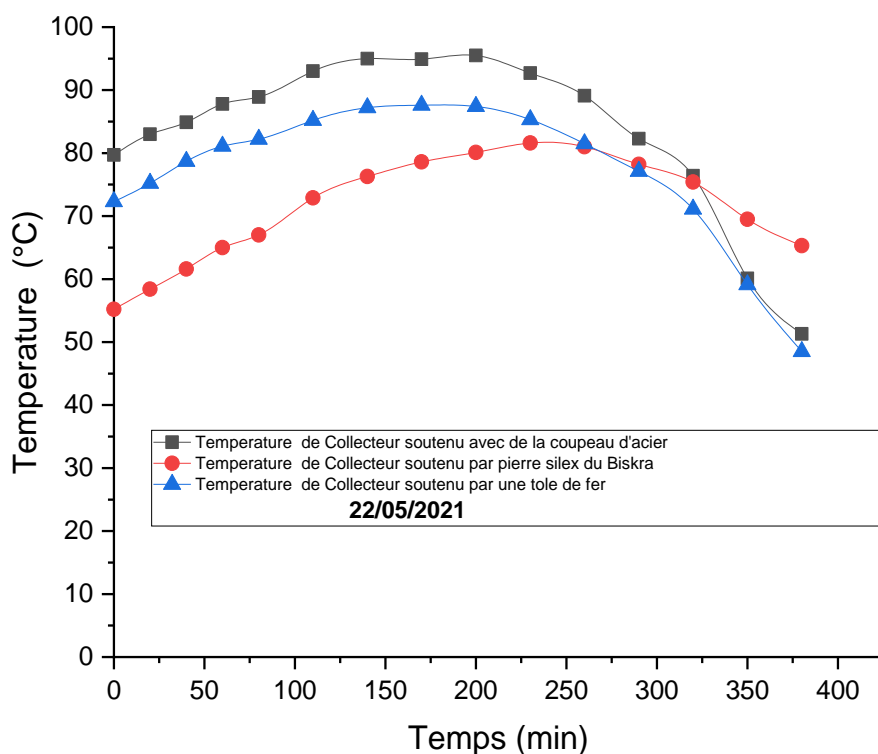


Fig IV.5 Variation de la température de collecteurs fonction de temps.

Dans la figure (IV.5) , nous avons observé qu'il y a une augmentation des températures, car nous avons assisté à augmentation de la température du premier collecteur (collecteur soutenu avec de la coupeau d'acier), atteignant 95.5 degrés à 200 minutes, et le deuxième collecteur (collecteur soutenu par pierre silex du Biskra) atteignant 81.6 degrés à 230 minutes, et dans le troisième collecteur (collecteur soutenu par une tôle de fer) atteignant 85.6 degrés à 200 minutes après cela, nous avons assisté à une diminution de la température, car elle atteignait 51.3 degrés dans le premier collecteur , et dans le deuxième collecteur 65.3 degrés et 48.5 degrés dans le troisième collecteur.

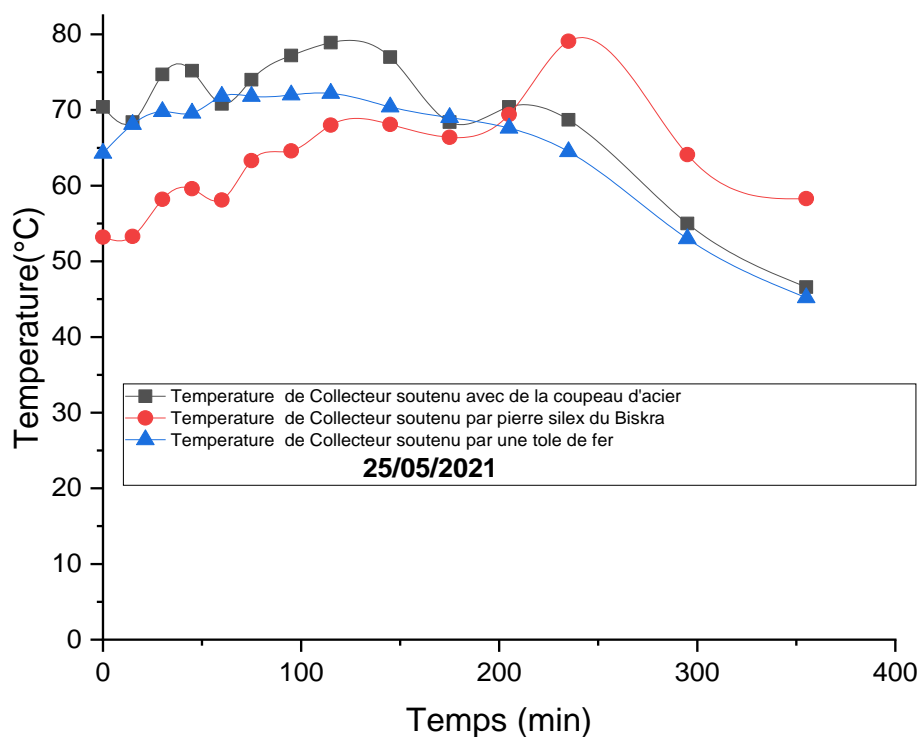


Fig IV.6 Variation de la température de collecteurs fonction de temps.

Dans la figure (IV.6), nous avons observé qu'il y avait une fluctuation de la température du premier collecteur (collecteur soutenu avec de la coupeau d'acier), après quoi nous avons vu une augmentation jusqu'à ce qu'elle atteigne 78.9 degrés à la 115 minute, Dans le deuxième collecteur (collecteur soutenu par pierre silex du Biskra), nous avons observé une augmentation de la température jusqu'à il a atteint 79.1 degrés à la 235 minute, et dans le troisième collecteur (collecteur soutenu par une tôle de fer) nous avons observé une augmentation de la température, car il a atteint 72.2 degrés en 115 minutes. Après cela, nous avons observé une diminution de la température dans tous les collecteurs, où dans le 355 minute le premier collecteur a atteint 46.6 degrés, le deuxième collecteur a atteint 58.3 degrés et le troisième collecteur 45.2.

IV.5 La température de chambres en fonction de temps

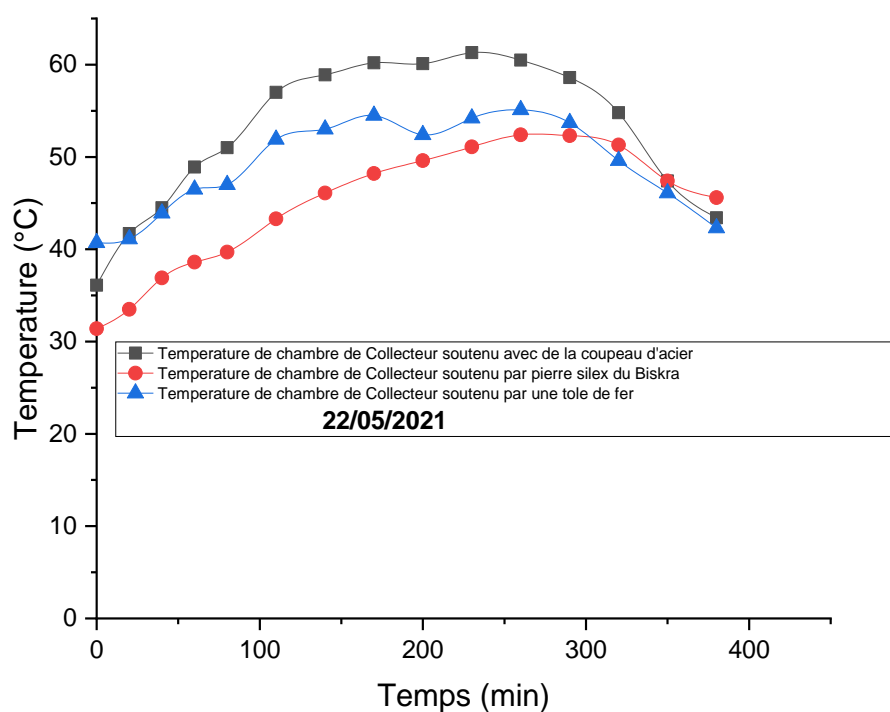


Fig IV.7 Variation de la température de chambres fonction de temps.

Dans la figure précédente, nous avons observé qu'il y avait une augmentation de la température de la première chambre (chambre de collecteur soutenu avec de la coupeau d'acier), où elle atteignait 61.3 degrés par minute 230, et la deuxième chambre (chambre de collecteur soutenu par pierre silex du Biskra) nous avons observé une augmentation de température, atteignant 52.4 degrés en 260 minutes. Il y a aussi une augmentation de la température de la troisième chambre (chambre collecteur soutenu par une tôle de fer), où Elle a atteint 54.5 degrés en 260 minutes, puis nous avons observé une diminution de la température dans toutes les chambres, où en 380 minutes la première chambre a atteint 43.4 degrés, la deuxième la chambre atteint 45.6 degrés et la troisième chambre atteint 42.3 degrés.

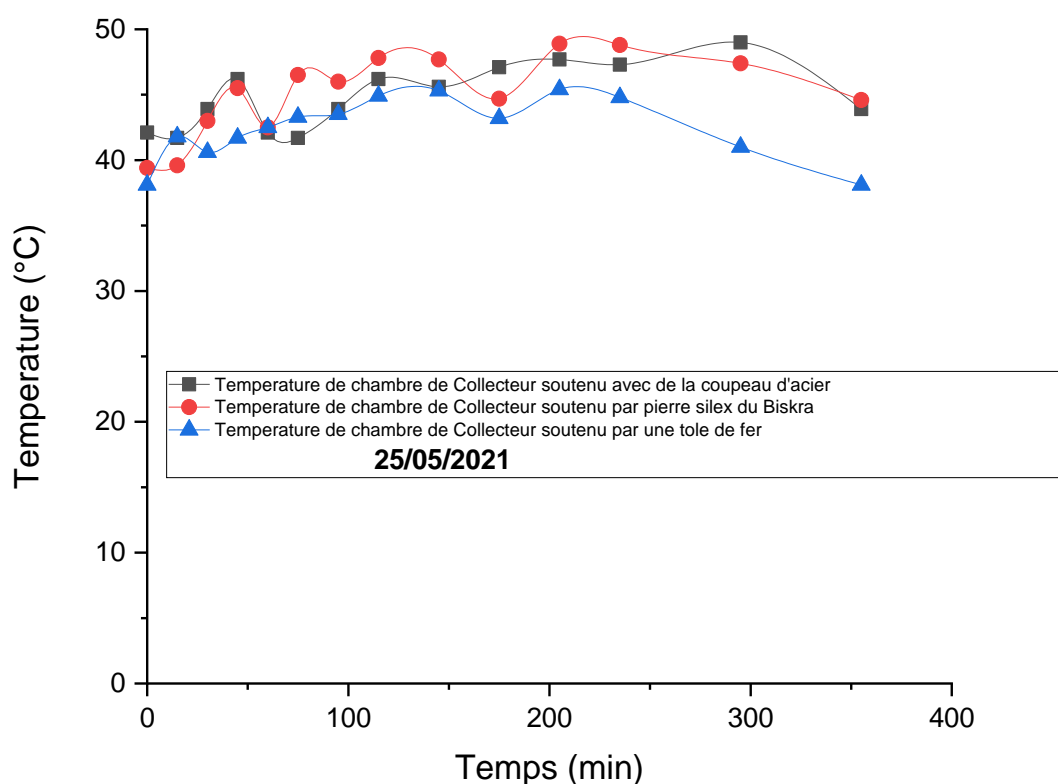


Fig IV.8 Variation de la température de chambres fonction de temps.

Dans la figure précédente, nous avons observé qu'il y avait une fluctuation de la température de la première chambre (chambre de collecteur soutenu avec de la coupeau d'acier) au début de l'expérience, après cela il y avait une augmentation de la température, atteignant 49 degrés pendant 295 minutes, et dans la deuxième chambre (chambre de collecteur soutenu par pierre silex du Biskra) nous avons observé qu'il y avait aussi une fluctuation de la température, mais après cela j'ai assisté à une augmentation de la température, qui a atteint 48.9 degrés en 205 minutes, et dans la troisième chambre (chambre collecteur soutenu par une tôle de fer) il y avait aussi une fluctuation de la température et après qu'il y a eu une augmentation de la température, qui a atteint 45.4 en 205 minutes, mais ensuite nous avons observé une diminution de la température en 355 minutes. Dans toutes les chambre, où la première chambre a atteint 43.9 degrés, la deuxième chambre a atteint 44.6 degrés, et la troisième chambre a atteint 38.1 degrés.

IV.6 La vitesse de séchage en fonction la teneur en eau

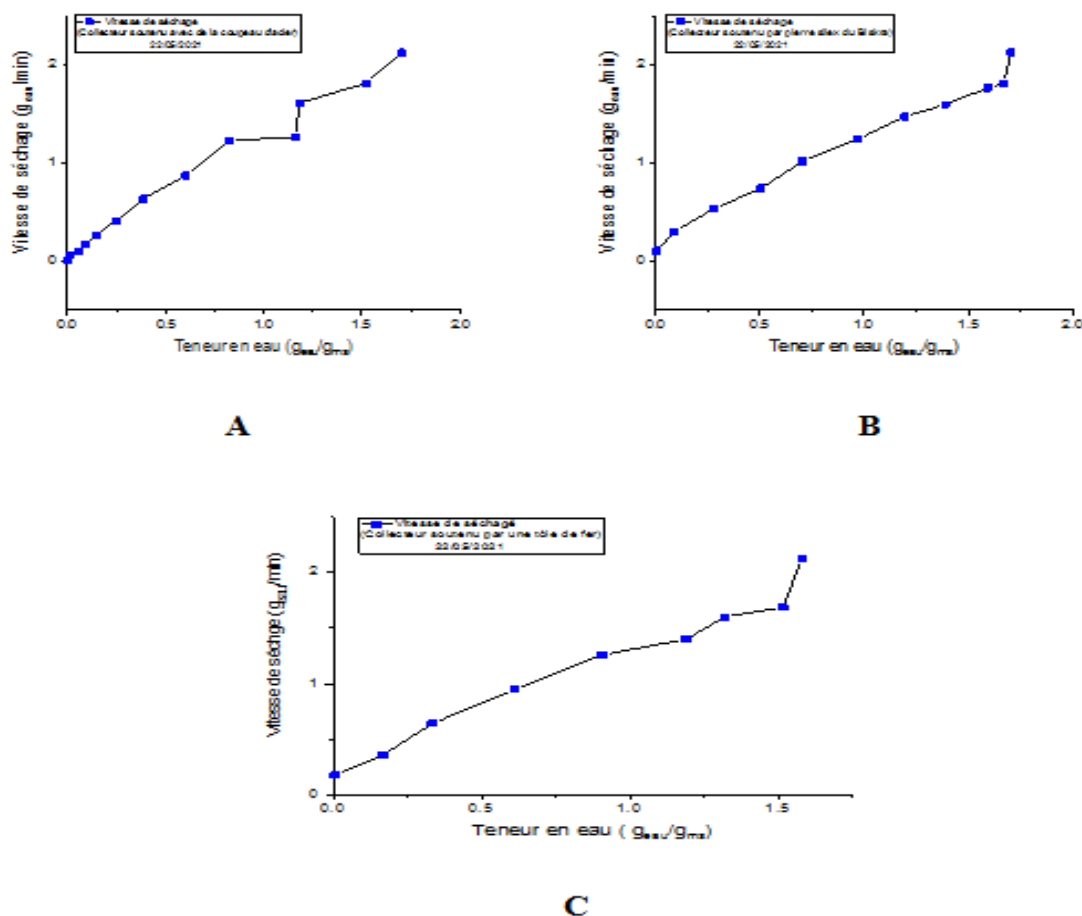


Fig IV.9 Variation de la vitesse en fonction de la teneur en eau A ,B et C.

A(Collecteur soutenu avec de la coupeau d'acier) et **B**(Collecteur soutenu par pierre silex du Biskra) et **C**(Collecteur soutenu par une tôle de fer)

Nous avons observé qu'il y a une diminution de la vitesse dans tous les collecteurs (collecteur soutenu avec de la coupeau d'acier, collecteur soutenu par pierre silex du Biskra et Collecteur soutenu par une tôle de fer) Où Il disparaît lorsque la teneur en eau disparaît, le troisième collecteur (C) était le plus rapide en séchage.

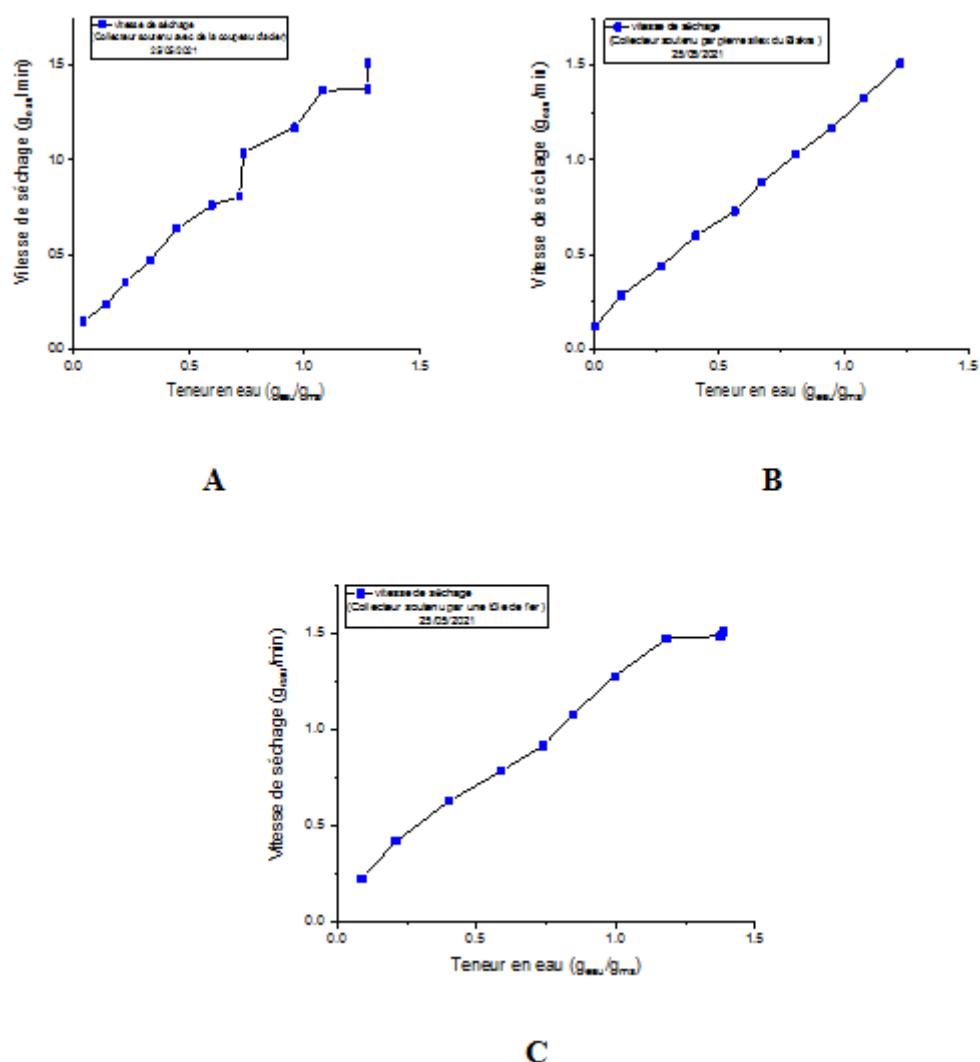


Fig IV.10 Variation de la vitesse en fonction de la teneur en eau A ,B et C.

A(Collecteur soutenu avec de la coupeau d'acier) et **B**(Collecteur soutenu par pierre silex du Biskra) et **C**(Collecteur soutenu par une tôle de fer)

Nous avons observé qu'il y a une diminution de la vitesse dans tous les collecteurs (collecteur soutenu avec de la coupeau d'acier, collecteur soutenu par pierre silex du Biskra et Collecteur soutenu par une tôle de fer) Où Il disparaît lorsque la teneur en eau disparaît, le deuxième collecteur (**B**) était le plus rapide en séchage.

IV.7 Conclusion

Après avoir changé le tuyau menant à la salle de séchage, nous avons constaté une amélioration de la productivité du transfert de chaleur vers la chambre de séchage, malgré les obstacles rencontrés (intempéries), mais nous avons obtenu de bons résultats.

CONCLUSION

GÉNÉRALE

Conclusion Général

Une recherche théorique dans la chambre de séchage permet de découvrir les différences de séchage du produit en fonction de la variation de l'absorbeur. La recherche permet également d'analyser l'influence de différents facteurs tels que la température et la vitesse du vent sur la température et la teneur en eau du produit à sécher.

Le passage d'air chaud à travers les pièces du sécheur augmente la teneur en eau du produit dans ces pièces. La raison en est que la vapeur d'eau produite par le produit est capturée par l'air, ce qui entraîne une diminution de la température et, par conséquent, de la conductivité thermique du produit.

En conséquence, l'augmentation de la température et de la vitesse de l'air de séchage (augmentant le pouvoir d'évaporation de l'air de séchage) permet plus d'échange de chaleur et de masse, et augmente ainsi la quantité d'eau évaporée et la température du produit à sécher.

Après avoir mené l'expérience et l'apparition des résultats, nous concluons que le collecteur soutenu par une tôle de fer est plus rapide que les autres complexes (collecteur soutenu par de la pierre de silex de Biskra, collecteur soutenu avec de la coupeau d'acier) en séchage, car nous avons pu obtenir le résultat en moins de temps que les deux derniers.

RÉFÉRENCES

- [1] Boussalia Amar, « *Contribution à l'étude de séchage solaire de produits agricoles* »
- [2] Salah Eddine Bensalem, « *Effets de la température sur les paramètres caractéristiques des cellulaires solaires* », Thèse de Magister, Université Ferhat Abbas de Setif, 2011.
- [3] Amina Benhammou, « *Optimisation d'un nouveau système de séchage solaire modulaire pour plantes aromatiques et médicinales* », Thèse de doctorat, Université de Tlemcen, Février 2010.
- [4] Hasni Hadjèr, « *Caractérisation Automatisée d'une cellule solaire* » ; Mémoire de Master, Université Med Khider Biskra, 2014.
- [5] (<http://dspace.univ-tlemcen.dz>, *Analyse des pertes thermiques, chapitre I, 2012, 2016.*
- [6] Hamdani Maamar " *ETUDE ET EFFET l'orientation de pièces d'un habitat en pierre Situé àGhardaïa* " . Mémoire de Magister energie Renouvelables. Université Abou-BakarBelkid Tlemcen.2011.
- [7] « *Jacques Teller* », www.lemma.ulg.ac.be, Confort Thermique, Université de Liège, 2016.
- [8] Abdelaziz Benkhelifa, « *Modélisation et expérimentation d'un capteur solaire plan à eau Influence de l'intensité de l'éclairement solaire et de l'inclinaison du capteur solaire sur le rendement du capteur* » ;
- [9] Kamelia Helali,« *Modélisation d'une cellule photovoltaïque : Etude comparative* » ; Thèse de Magister, Université Mouloud Mammeri de Tizi-ouzou, 2013.
- [10] VAILLANT. J.R , « *Utilisations et promesses de l'énergie solaire* » ,éd.Eyrolles ,1978, p38.
- [11] O, Sotehi." *Etude des caractéristiques de fonctionnement et de la performance d'un distillateur solaire*"; thèse de magistère, Université de Constantine. (2009).
- [12] J, A, Duffie; W, A, Beckman. *Solar engineering of thermal processes*, John Wiley and Sons. (1980).
- [13] Majid Ghassemi, Alma Cota, Robert Foster «*Solar Energy:Renewable Energy and the Environment*» 2010.

- [14] Techniques de l'ingénieur – génie des procédés Séchage Théorie et calculs. Par André Charreau et Roland Cavaillé, j 2480-2 ; 2480-22.
- [15] M. Daguénet Les séchoirs solaires: théorie et pratique, 1985.
- [16] Capderou, M., 'Atlas Solaire de l'Algérie', Tomes 1, 2 et 3. Office des Publications Universitaires, 1987.
- [17] Himri, Y., Himri, S., Boudghene Stambouli, A. (2009). Assessing the wind energy potential projects in Algeria. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 13: 2187–2191.
- [18] Himri, Y., Rehman, S., Agus Setiawan, A., Himri, S. (2012). Wind energy for rural areas of Algeria. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 2381– 2385.
- [19] Chellali, F., Khellaf, A., Belouchrani, A., Recioui, A. (2011). A contribution in the actualization of wind map of Algeria. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15: 993–1002.
- [20] Mefti, A., Bouroubi, M.Y. (1999). Estimation et Cartographie de la Composante Globale du Rayonnement Solaire. *Rev. Energ. Ren. : Valorisation* 219-224.
- [21] Youcef Ettoumi, F., Mefti, A., Adane, A., Bouroubi, M.Y. (2002). Statistical analysis of solar measurements in Algeria using beta distributions. *Renewable Energy* 26: 47–67.
- [22] Mefti, A., Bouroubi, M.Y., Adane, A. (2003). Generation of hourly solar radiation for inclined surfaces using monthly mean sunshine duration in Algeria. *Energy Conversion and Management* 44: 3125–3141.
- [23] Mellit, A., Kalogirou, S.A., Shaari, S., Salhi, H., Hadj Arab, A. (2008). Methodology for predicting sequences of mean monthly clearness index and daily solar radiation data in remote areas : Application for sizing a stand-alone PV system. *Renewable Energy* 33: 1570–1590.
- [24] Yaiche, M.R., Bouhanik, A. (2013). Atlas Solaire Algérien. Centre de Développement des Energies Renouvelables. http://www.cder.dz/IMG/pdf/Atlas_solaire_Algerien_CDER.pdf .
- [25] Yaiche, M.R., Bouhanik, A., Bekkouche, S.M.A., Malek, A., Benouaz, T. (2014). Revised solar maps of Algeria based on sunshine duration. *Energy Conversion and Management* 82: 114–123
- [26] <https://www.edf.fr/sites/default/files/Lot%203/CHERCHEURS/Publications/technologievoilee01internet.pdf>.

- [27] <https://www.alternative-energy-tutorials.com/solar-hot-water/solar-dish-collector.html>
- [28] LIVET, F. Concentration solar thermal power; Le solaire thermique a concentration (CSP). 2011.
- [29] <https://www.calculeo.fr/Eco-travaux/Panneaux-solaires-photovoltaiques/Lescapteurs-solaires>
- [30] Souheyla Khaldi. Etude numérique du comportement thermique d'un séchoir solaire utilisant un lit thermique pour le stockage d'énergie. Autre. Université Bourgogne Franche-Comté, 2018. (H1)
- [31] Aumporn Orawan. contribution à l'étude des performances d'un séchoir serre avec stockage de chaleur dans des matériaux à changement de phase. universite de perpignan via domitia. 7 décembre 2017 (e) (K1)
- [32] Touati, 2017 Etude expérimentale du séchage solaire des plantes feuillues" Mémoire de fin d'étude Présenté pour l'obtention du diplôme de Master Academique. université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued.
- [33] J. Li, P. Xue, W. Ding, J. Han and G. Sun, 'Micro-Encapsulated Paraffin/High-Density Polyethylene/Wood Flour Composite as Form-Stable Phase Change Material For Thermal Energy Storage', Solar Energy Materials and Solar Cells, Vol. 93, N°10, pp. 1761 - 1767, 2009.
- [34] C. Alkan and A. Sari, 'Fatty Acid/Poly (Methyl Methacrylate) (PMMA) Blends as Form-Stable Phase Change Materials for Latent Heat Thermal Energy Storage', Solar Energy, Vol. 82, N°2, pp. 118 - 124, 2008.
- [35] Khartchenko NV. Advanced energy systems. Berlin: Institute of Energy Engineering & Technology University; 1997.
- [36] Lane GA. Solar heat storage—latent heat materials, vol. I. Boca Raton, FL: CRC Press, Inc.; 1983.
- [37] Laghzaoui A. et Peerhossaini D., heat storage: solar energy and other applications, Ecole des mines de douai, (2010).
- [38] Lane G.A., Solar heat storage—latent heat materials, vol. I. Boca Raton, FL: CRC Press, Inc. (1983).
- [39] Berroug F., Lakhali E.K., El Omari M., Faraji M. et El Qamia H., Thermal performance of a greenhouse with a phase change material north wall, Energy and Buildings, 43 (11) (2011) 3027–3035.

- [40] Goswami D. Yogi, Kreith F. et Kreider Jan F., Principles of solar engineering – 2nd ed. (1999) 173-180.
- [41] Sharma, A., Tyagi, V.V., Chen, C.R., Buddhi, D., 2009. Review on thermal energy storage with phase change materials and applications. Renewable and Sustainable Energy Reviews 13 (2), 318–345.*locaux* », Thèse de Magister ; Université Mentouri – Constantine, 2010.
- [42] LAOUINI, Abdeldjalil, et al. Realization of a Solar Dryer Assisted by a Parabolic Dish Concentrator. In: *Defect and Diffusion Forum*. Trans Tech Publications Ltd, 2021. p. 192-199.
- [43] <http://www.aprifel.com/fiche-nutri-produit-composition-menthe,45.html>.(Samedi 05/05/2018 à 09:33AM)

Annexe : quelque photo de préparation de notre séchoir



Fig montrant l'installation du collecteur solaire



Fig montrant le placement des supports et l'installation du tube

Titre du mémoire : Conception et réalisation d'un séchoir passif assisté par un capteur solaire plan

Master : Énergies renouvelables en mécanique

Auteur : Hlilate Chokri - Ben Amara Ali- Kina Taoufeik

Résumé :

Dans ce travail, nous avons concentré notre attention sur le processus de séchage des plantes à feuilles telles que la menthe, où nous avons utilisé séchoir passif assisté par un capteur solaire plan , où ce dernier fournit de la chaleur à la chambre de séchage au moyen d'un collecteur solaire qui atteint la température qu'il capte au niveau du collecteur allant de 60 à 90 degrés Celsius. L'objectif principal de cette expérience est d'utiliser l'énergie renouvelable (le soleil) dans l'étude de la cinétique de séchage et la comparaison entre trois collecteurs différents en vitesse de séchage et l'étude de la teneur en eau de ce produit (menthe). étude de la menthe étaient les suivantes : La température varie Nécessaire pour sécher la menthe de 36 à 60 °C en une période de 200 minutes, l'avantage du processus de séchage pour ce produit est la large utilisation de ce produit pendant qu'il est séché.

Mots clés : séchage solaire, séchoir solaire passif, capteur solaire, cinétique de séchage, teneur en eau.

Report title : Design and production of a passive dryer assisted by a flat solar collector

Abstract :

In this work, we focused our attention on the drying process of leafy plants such as mint, where we used passive dryer assisted by a planar solar collector, where the latter supplies heat to the drying chamber by means of a solar collector which reaches the temperature which it collects at the level of the collector ranging from 60 to 90 degrees Celsius. The main objective of this experiment is to use renewable energy (the sun) in the study of the drying kinetics and the comparison between three different collectors in drying speed and the study of the water content of this product (mint). study of the mint were as follows: The temperature varies Necessary to dry the mint from 36 to 60 ° C in a period of 200 minutes, the advantage of the drying process for this product is the wide use of this product while it is is dried.

Keywords : solar drying, passive solar dryer, solar collector, drying kinetics, water content.

عنوان المذكرة : تصميم وإنتاج مجفف سلبي بمساعدة مجمّع شمسي مسطح.

الملخص :

في هذا العمل ، ركزنا اهتمامنا على عملية تجفيف النباتات المورقة مثل النعناع ، حيث استخدمنا المجفف السلبي بمساعدة مجمّع شمسي مستوٍ ، حيث يوفر الأخير الحرارة إلى غرفة التجفيف عن طريق مجمّع شمسي يصل إلى درجة الحرارة التي يجمعها على مستوى المجمع تتراوح من 60 إلى 90 درجة مئوية. الهدف الرئيسي من هذه التجربة هو استخدام الطاقة المتجددة (الشمس) في دراسة حركية التجفيف والمقارنة بين ثلاث جامعات مختلفة في سرعة التجفيف ودراسة المحتوى المائي لهذا المنتج (النعناع). كانت دراسة النعناع على النحو التالي: تتفاوت درجة الحرارة اللازمة لتجفيف النعناع من 36 إلى 60 درجة مئوية في مدة 200 دقيقة ، وتتمثل ميزة عملية التجفيف لهذا المنتج في الاستخدام الواسع لهذا المنتج أثناء تجفيفه.

الكلمات المفتاحية : التجفيف الشمسي ، المجفف الشمسي السلبي ، المجمّع الشمسي ، حركية التجفيف ، المحتوى المائي.