



UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA
FACULTE DES SCIENCE DE L'INGENIEUR
DEPARTEMENT DU MECANIQUE



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme Master
En GENIE MECANIQUE

OPTION: ENERGIES RENOUVELABLES

Thème :

Dimensionnement et Réalisation d'une Serre Solaire
Destinée pour le Séchage des Déchets Alimentaires

Par :

Melle DEBIANI Kahina

Soutenu le 02/10/2013 devant le jury composé de :

SEMMAR .Djaffar	MCA	Président
HAMID. Abdelkader	MAB	Examineur
ABDI. Hamid	MAB	Examineur
N. KASBADJI. MERZOUK	DR	promotrice
MERZOUK. Mustapha	MCA	Co-promoteur

Remerciements

En préambule à ce mémoire, je souhaite faire preuve de gratitude envers toutes les personnes qui ont permis l'aboutissement de ce mémoire, à travers les mois d'étude, de réalisation, de rédaction et de correction.

Tout d'abord, je désire vivement remercier Madame N. Kasbadji-Merzouk, directrice de l'udes et promotrice, Je la remercie sincèrement de l'attention particulière qu'elle a porté sur mon travail, pour l'implication qu'elle a pu avoir tout au long de ce projet, pour son suivi, ses conseils, ses directions et éclaircissements, et la confiance qu'elle m'a accordé dès le début de cette thèse.

Mes remerciements s'adressent aussi à Monsieur M. Merzouk, professeur à l'université de Blida et co-promoteur pour son aide durant l'année théorique et ces conseils.

J'exprime ma reconnaissance aux membres du jury, pour l'honneur qu'ils m'ont accordé en acceptant d'évaluer et de juger mon travail.

Je remercie également les personnes avec qui j'ai eu le plaisir de travailler

Je désire également remercier l'équipe de l'atelier de l'udes pour leur aide dans la réalisation du dispositif.

L'ensemble des travaux présentés a pu être mené grâce à la collaboration et au financement de l'udes donc toute ma gratitude.

Mes remerciements vont à mes amis pour leur amitié et pour l'intérêt et le soutien qu'ils ont portés à l'accomplissement de ce travail

DEDICACE

Je dédie ce travail

A mes très chers parents

A mes frères Samir, Belkacem et Mohamed.

A ma sœur Djamila et son mari Marzouk

A mes oncles Mouloud et Amar et leurs familles et toute la famille DEBIANI.

Mon oncle Belkacem et toute la famille BENAKLI.

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

A toute la promotion de Master 2 Energies Renouvelables de Blida

Résumé

Le séchage solaire est un moyen de conservation des produits soit à l'échelle industriel (bois, papier ; textile) ou à l'échelle agro-alimentaire (fruits, légumes) dans lequel on réalise des économies d'énergies importantes.

La présente étude consiste en la réalisation et l'expérimentation d'une serre réalisée au sein de l'unité de développement des équipements solaire UDES destinée au séchage direct des déchets alimentaires.

Le principe de fonctionnement de la serre est basé sur la circulation naturelle dû à un échauffement de l'air introduit par une porte située en bas du séchoir et son évacuation vers la porte située en haut. Le déchet alimentaire à savoir du poivron rouge et de la pomme ont été déposés sur trois claies en grillage permettant le séchage du produit.

Les résultats expérimentaux indiquent que l'évolution des températures de séchage est fortement liée à la variation de l'éclairement solaire et la température ambiante. Le temps de séchage étant plus faible lorsque les tests sont effectués par ciel clair.

Séchage solaire, expérimentation, bilans énergétiques, conservation des aliments

Abstract

Solar drying is a method of preservation products either industrial scale (wood, paper, textile) or scale food (fruits, vegetables) in which significant energy saving is achieved. This study involves the construction and testing of a greenhouse made in the development unit for the solar equipment UDES direct drying of food waste.

The principle of operation of the greenhouse is based on natural circulation due to heating of the air introduced through a door at the bottom of the dryer and its discharge to the door at the top. The food waste namely red pepper and apple were deposited on three screens of mesh for drying the product.

The experimental results indicate that the evolution of drying temperatures is strongly linked to changes in solar irradiance and ambient temperature. The drying time is lower when the tests are performed on a clear sky.

Solar drying, testing, energy audits, food preservation

ملخص

التجفيف الشمسي هو وسيلة للمحافظة على المواد سواء في المجال الصناعي مثل الورق، الخشب او في المجال الغذائي (الخضر، الفواكه) و هذا في إطار تحقيق اقتصاد في الطاقة

الدراسة المقدمة في هذه المذكرة عبارة عن إنجاز غرفة شمسية التجفيف و دراسة تطبيقية و هذا على مستوى وحدة الأجهزة الشمسية udes

مبدأ عمل هذه الغرفة يتمثل في دخول الهواء إلى داخلها بصفة طبيعية من الفتحة الموجودة أسفل هذه الأخيرة بحيث يحدث له ارتفاع في درجة الحرارة ثم يصعد إلى الأعلى بمبدأ اختلاف الكثافة

المادة المستعملة أثناء التجارب عبارة عن بقايا فلفل أحمر و تفاح، وضعت هذه الأخيرة في ثلاث حوامل مصنوعة من الحديد فيه ثقب تسمح بمرور الهواء

النتائج المحصلة عليها بينت أن حرارة عملية التجفيف مرتبطة بتغير العوامل الخارجية التي هي درجة حرارة المحيط الخارجي و نسبة تركيز الأشعة الشمسية

Nomenclature

A	La surface de l'ouverture	m^2
a	L'azimut du soleil	degré
a*	Albédo	-----
C	Correction de la distance terre _ soleil	-----
Cp	chaleur spécifique de l'air	(j/Kg.K)
D _a	Débit d'air	m^3/h
e	Coefficient de trouble du ciel	-----
E ₀	Constante solaire	w/m^2
Ea	pouvoir évaporatif	-----
F	Coefficient de trouble du ciel	-----
h	Hauteur du soleil	Km
h _{ij}	le coefficient d'échange par convection	W/m^2k
hr _{ij}	le coefficient d'échange radiatif	W/m^2k
he	le coefficient global d'échange thermique de la vitre avec le milieu extérieur	W/m^2k
I _b	Eclairement direct incident	w/m^2
I _{bh}	Eclairement direct incident horizontal	w/m^2
I _d	Eclairement direct incident	w/m^2
I _d	Eclairement direct incident horizontal	w/m^2
I _g	Eclairement global	w/m^2
I _{g(i)}	Eclairement solaire global incident sur la surface	w/m^2
Lv	chaleur latente de vaporisation de l'eau	j/kg
M _e	Quantité d'eau à enlever du produit	kg
M _s	Masse sèche du produit	kg
mi	Teneur en eau initial	Kgeau/kg Ms
mf	Teneur en eau finale	
ṁ	Flux massique d'eau évaporée	
n	Numéro du jour de l'année	-----
Q _{ij}	le flux de chaleur reçu par le milieu matériel j émis par le milieu i	[W]
Q _{r_{ij}}	le flux de chaleur par rayonnement infrarouge émis par le milieu i et reçu par le milieu j	[W]
Q _{ip}	Flux d'accumulation d'inertie thermique du produit	[W]
Q _{cond}	Flux convectif du produit vers l'air intérieur	[W]
Q _{rp}	Flux de l'éclairement solaire reçu par le produit	[W]
R _{air}	le taux de renouvellement d'air	1/h
R _b	Facteur de conversion	-----
S _e	Surface d'échange	m^2
SS	Durée d'insolation	h
SS ₀	Insolation partielle	h
S _v	Surface de l'ouverture de la serre	m^2
T _v	Température du vitrage	C°
T _{amb}	Température ambiante	C°
T _{sr}	Température de la serre	C°
V _{vent}	La vitesse du vent	m/s

V_i	Volume intérieur de la serre	M^3
-------	------------------------------	-------

Les indices grecs

λ	La longueur d'onde	m
α_v	coefficient d'absorption global de la vitre	-----
α_s	coefficient d'absorption global du sol	-----
α_n	coefficient d'absorption global de la paroi nord	-----
η_s	Rendement de séchage	-----
τ	Coefficient de réflexion	-----
θ	angle d'incidence des rayons solaires	degré
ρ	Masse volumique de l'air	Kg/m^3
φ	la latitude du lieu	degré
β_1	l'inclinaison du capteur plan par rapport à l'horizon	degré
β_2	angle formé par la projection de la normal au plan du capteur et la direction sud	degré
δ	la déclinaison solaire	degré
ε	Coefficient de transmission	-----
σ	Facteur d'insolation	-----

Liste des configurations

CHAPITRE I		
Figure I.1	représentation schématique des différents échanges lors d'une opération de séchage	P.4
Figure I.2	schéma d'une serre active	P.7
Figure I.3	une serre passive	P.7
Figure I.4	Les séchoirs directs	P.8
Figure I.5	type de séchoir indirect	P.9
Figure I.6	différents types de séchoirs solaires	P.10
Figure I.7	courbe caractéristique du séchage en fonction du temps	P.11
Figure I.8	Principe de fonctionnement d'une serre de séchage	P.13
Figure I.9	schéma de circulation de l'air dans une serre ouverte	P.13
Figure I.10	Photo d'une serre fermée extraction en pignon	P.14
Figure I.11	Exemple de serre fermée-extraction par cheminée	P.15
Figure I.12	séchoir expérimental type serre avec stockage	P.17
Figure I.13	le séchoir solaire étudié par Singh et al	P.18
Figure I.14	schéma de la serre étudiée	P.19
Figure I.15	La serre utilisée dans l'étude	P.20
Figure I.16	un système hybride photovoltaïque sous un effet de serre	P.21
Figure I.17	séchoir pliable	P.23
Figure I.18	Séchoir solaire à convection naturelle indirecte avec la cheminée et le matériau de stockage	P.23
Figure I.19	séchoir solaire à effet de serre comme collecteur	P.24
Figure I.20	Vue de côté d'un séchoir solaire tunnel	P.24
Figure I.21	Séchoir solaire multiple couche	P.24
Figure I.22	Présentation de la serre triangulaire étudiée	P.25
CHAPITRE II		
FigureII.1	bilan thermique du système	P.27
FigureII.2	les différents échanges thermiques au niveau de la serre	P.33
FigureII.3	les différents échanges thermiques au niveau d'une claie avec produit	P.34
CHAPITRE III		
Figure III.1	Etapas de dimensionnement d'un séchoir	P.38
Figure III.2	vue d'ensemble de la serre réalisée	P.40
Figure III.3	présentation des couches d'une paroi latérale en vue de profil	P.41
Chapitre IV.		
FigureIV.1	Schéma de la disposition des thermocouples	P.45
FigureIV.2	Photo de la serre après l'emplacement des thermocouples	P.46
FigureIV.3	la disposition du produit à l'intérieur de la serre	P.47
FigureIV.4	la position des balances lors des tests	P.47
Figure IV.5	Thermocouples type K et acquisition de données type FLUKE	P.48
Figure IV.6	'hygromètre TESTO	P.48
Figure IV.7	Le pyromètre utilisé type KIPP ZONEN	P.48
Figure IV.8	le thermo-anémomètre utilisé	P.49
Figure IV.9	Type de balance utilisé	P.49
Figure IV.10	L'évolution de l'éclairement en fonction du temps	P.50

Figure IV.11	L'évolution de la température d'entrée et de sortie en fonction du temps	P.50
Figure IV.12	L'évolution de l'éclairement solaire en fonction du temps	P.50
Figure IV.13	L'évolution de la température d'entrée et sortie en fonction de temps	P.50
Figure IV.14	la variation de l'éclairement en fonction du temps	P.51
Figure IV.15	L'évolution de la température d'entrée et sortie en fonction du temps	P.51
Figure IV.16	La variation de l'éclairement solaire en fonction du temps	P.51
Figure IV.17	L'évolution de température d'entrée et sortie en fonction du temps	P.51
Figure IV.18	La variation de l'éclairement en fonction du temps	P.52
Figure IV.19	Distribution de température sur la hauteur sur en fonction du temps	P.53
Figure IV.20	Distribution de température sur la longueur en fonction du temps	P.53
Figure IV.21	l'évolution de la température de différentes hauteurs en fonction du temps	P.54
figure IV.22	l'évolution de la température de différentes longueurs en fonction du temps	P.54
Figure IV.23	l'évolution de l'éclairement en fonction du temps	P.55
Figure IV.24	l'évolution de température d'entrée et sortie en fonction du temps	P.55
Figure IV.25	la variation du poids du produit au niveau des trois claies en fonction du temps	P.55
Figure IV.26	l'évolution de la température dans deux points de claie 1	P.56
Figure IV.27	l'évolution de la T°C dans deux points de la claie 2	P.56
Figure IV.28	l'évolution de la température au niveau de deux points de la claie N° 3	P.56
Figure IV.29	la variation de l'éclairement En fonction de temps	P.57
Figure IV.30	la variation de la température ambiante	P.57
Figure IV.31	l'évolution de température d'entrée et sortie en fonction du temps	P.57
Figure IV.32	l'évolution de température au niveau des trois claies	P.57
Figure IV.33	l'évolution de température Au niveau de deux points de claie N° 1	P.58
Figure IV.34	l'évolution de température dans deux points de la claie N°2	P.58
Figure IV.35	l'évolution de température dans deux points de la claie N°3	P.58
Figure IV.36	La variation du poids du produit au niveau de chaque claie	P.59
Figure IV.37	38 la variation de l'éclairement en fonction du temps	P.60
Figure IV.38	la variation de température ambiante en fonction du temps	P.60
Figure IV.39	la variation de l'humidité al'intérieur de la serre au niveau de la claie 1	P.60
Figure IV.40	La variation du poids du produit au niveau de chaque claie	P.60
Figure IV.41	évolution de la température dans deux point de claie 1	P.61
Figure IV.42	évolution de la température dans deux points de claie 2	P.61
Figure IV.43	Évolution de la température dans deux points de claie 3	P.61

Liste des tableaux

Chapitre II		
TableauII.1	Coefficient de trouble du ciel	P.29
Chapitre III		
III.1	pouvoir évaporatoire de l'air E_a , en fonction de sa température et de son humidité	P.37
III.2	présentation des différentes dimensions de la serre	P.42
III.3	caractéristiques des matériaux de construction de la serre	P.43

TABLE DES MATIERES

NOMENCLATURE

LISTE DES FIGUR.

LISTE DES TABLEAUX

INTRODU CTION GENERALE

CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1.Introduction.....	1
I.2. définition du séchage solaire.....	1
I.3. les théories du séchage solaire.....	1
I.3.1.Théorie de la diffusion du liquide (1927).....	1
I.3.2 Théorie de Luikov (1934).....	2
I.3.3.Théorie de Krischer-Berger et Pei(1938).....	2
I.3.4.Théorie de Capillaire (1937).....	2
I.3.5. Théorie de Philip et De Vries (1957).....	2
I.3.6.Théorie Whitaker (1977)	3
I.4. les différents modes de séchage.....	3
I.4.1. Séchage direct appelé aussi séchage par convection.....	3
I.4.2. Séchage indirect ou par conduction	3
I.4.3. Séchage par éclaircissement.....	4
I.4.4. Séchage sous vide.....	5
I.4.5. Séchage par perte diélectrique.....	5
I.4.6. Séchage par lyophilisation.....	5
I.4.7.Le séchage a l'air libre.....	5
I.5. types de séchoirs.....	6
I.5.1. Les systèmes actifs (les séchoirs hybrides).....	6
I.5.2. Les systèmes passifs.....	7
I.5.2.1. Les séchoirs solaires directs	8
I.5.2.2. Les séchoirs solaires indirects	9
I.5.2.3. Les séchoirs mixtes.....	10
I.6. Cinétique du séchage.....	11
I.6.1 Courbe caractéristique de séchage.....	12
I.7. principe du séchage solaire sous serre.....	13

I.8. Les types de serre.....	14
1.8.1. La Serre ouverte.....	14
1.8.2. La serre fermée.....	15
I.9. Les travaux antérieurs réalisés sur le séchage.....	16
I.10. Conclusion.....	26

CHAPITRE II : MODELISATION MATHEMATIQUE DE LA SERRE

II.1. introduction.....	27
II.2 Hypothèses simplificatrices.....	28
II.3. Quantité d'énergie absorbée.....	28
II.4. L'éclairement solaire.....	29
II.4.1. L'éclairement diffus I_b	29
II.4.2. L'éclairement diffus I_d	30
II.4.3. Eclairement global I_g	30
II.4.4. Flux solaire global transmis et absorbé.....	31
II.5. les pertes thermiques de la serre.....	31
II.5.1. Pertes thermiques vers l'avant.....	31
II.5.2. pertes thermiques latérales, arrière et bas.....	32
II.5.5. rendement instantané de la serre.....	33
II.6. pertes de la serre.....	33
II.7. comportement thermique du produit au niveau d'une claie.....	34
III.8. CONCLUSION.....	35

CHAPITRE III : DIMENSIONNEMENT ET REALISATION DE LA SERRE

III.1. Introduction.....	36
III.2. Etapes de dimensionnement de la serre.....	36
III.2.1. Quantité du produit frais à sécher.....	36
III.2.2. débit d'eau nécessaire pour le prélèvement d'eau du produit à sécher.....	36
III.2.3 Calcul du débit d'air à l'entrée de la serre	
III.2.4 Dimension de l'ouverture d'entrée d'air.....	37
III.2.5. Dimension de la serre séchoir objet de l'étude.....	38
III.3. choix du type de séchoir.....	39

III.4. Réalisation de la serre	40
III.4.1.présentation du séchoir	40
III.4.2.les critères respectés pour la construction	41
III.4.3.les dimensions de la serre	42
III.4.4. Etapes de la réalisation de la serre.....	42
III.5.Conclusion	43

Chapitre IV : TESTS RESULTAS ET DISCUSSION

IV.1. introduction.....	44
IV.2. conditions expérimentales.....	44
IV.2.1. lieu de déroulement des tests	44
IV.2.2Période des tests.....	44
IV.3.appareils de mesures.....	47
IV.3.1Mesure de température.....	48
IV.3.2. Mesure de l'humidité	48
IV.3.3. Mesure de rayonnement solaire.....	48
IV.3.4 Mesure de la vitesse de l'air.....	49
IV.3.5 Mesure du poids	49
IV.4.resultats et interprétation.....	50
IV.4.1. Influence des degrés d'ouvertures des portes sur la température d'entrée et.....	50
de sortie de l'air	
IV.4.2 Distribution des températures sur la longueur et la hauteur de la serre.....	52
IV.4.3Séchage des déchets de poivron rouge.....	54
IV.4.4.séchage des déchets de pomme	59
IV.5. Conclusion	62

INTRODUCTION GENERALE

La conservation des produits alimentaires constitue un enjeu primordial dans les pays où la production agricole est concentrée sur quelques périodes de récolte. C'est pour cette raison qu'il est impératif de pouvoir allonger l'utilisation des denrées alimentaires dans le temps. Pour cela plusieurs solutions sont proposées pour pallier cet handicap dont celle du séchage.

Au vu du coût, de plus en plus élevé de l'énergie, le séchage solaire et particulièrement le séchage passif constitue, aujourd'hui, une piste sérieuse pour le développement industriel agroalimentaire. En effet, il présente l'avantages de réduire le risque de pourrissement des produits alimentaires inhérent à l'utilisation de la vapeur ou des carburants en combustion. Il réduit, aussi, le coût du carburant utilisé, la pollution atmosphérique attribuée aux carburants et le risque de pollution du sol causée par les déversements de ce dernier.

Le séchage solaire est utilisé pour le séchage des fruits, des légumes, des grains, des plantes aromatiques, etc. Il est efficace dans les régions où il y a une forte intensité des rayons solaires et où la durée d'ensoleillement est longue. Il peut se réaliser selon deux modes, direct en étalant le produit et en l'exposant au soleil, ou indirect en étalant le produit dans une serre ou un séchoir solaire à l'abri de poussière ou insectes.

L'opération du séchage solaire est une science inexacte. La taille de produits, l'humidité relative et la méthode choisie pour le séchage affectent le produit durant le temps nécessaire à la déshydrations d'une nourriture donnée.

Pour bien maîtriser cette technique, il faut pouvoir maîtriser les trois paramètres fondamentaux température, humidité et vitesse de l'air asséchant. La vitesse joue un rôle important c'est-à-dire

il faut pouvoir sécher rapidement pour éviter le pourrissement du produit mais pas trop vite car une croûte risque alors de se former en surface empêchant l'eau de sortir. Il faut aussi éviter l'exposition à de trop haute température afin de ne pas dénaturer et noircir le produit. Il faut prendre aussi en considération les propriétés et les caractéristiques du produit à sécher.

Le présent travail se divise en quatre parties

La première partie porte sur l'état de l'art du séchage solaire. Dans cette partie, quelques généralités sur le séchage sont données. Il s'agit de définition, théories du séchage, modes et les différents types de séchoirs existant. Il est clôturé par la présentation de quelques travaux antérieurs dans le domaine.

La deuxième partie porte sur la modélisation du système étudié ou les équations des bilans thermiques de différentes parties, nécessaires à l'étude ont été établies.

Le troisième chapitre est consacré au dimensionnement et la réalisation de la serre. C'est la partie la plus longue de ce travail car elle englobe les différentes parties de réalisation des parties de la serre séchoir.

Pour terminer le quatrième chapitre porte sur évaluation des performances du dispositif à partir des tests ou l'influence de quelques paramètres sur l'opération de séchage tel que la hauteur, la longueur ; l'humidité et la température ambiante est étudié. Les résultats obtenus sont discutés et suivis d'interprétation

CHAPITRE I
ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1. INTRODUCTION

Afin de bénéficier d'une énergie propre et non polluante, telle que l'énergie solaire, il est nécessaire de mettre en place des dispositifs qui fonctionnent à base de cette source. Parmi ces derniers, il y a les séchoirs solaires qui étaient et qui demeurent à ce jour, un objet de plusieurs recherches.

L'objectif de ce chapitre est la description bibliographique des procédés de séchage, des méthodes utilisées pour le séchage, les différents dispositifs existants ainsi que quelques travaux déjà réalisés dans ce domaine et dans le but de maîtriser les chapitres qui suivent.

I.2. DEFINITION DU SECHAGE

Le séchage est une opération unitaire qui met en jeu un transfert de matière (le liquide quitte le produit et passe à l'état de vapeur) et un transfert thermique (responsable du changement d'état du liquide). Le séchage permet de convertir des denrées périssables en produits stabilisés, par abaissement de l'activité de l'eau. Il est souvent associé à des traitements (salage, sucrage, traitement après séchage avec une huile alimentaire ...) qui favorisent la diminution de l'activité de l'eau et limitent les réactions biochimiques et améliorent la conservation du produit, [1].

I.3. THEORIE DU SECHAGE

La complexité du phénomène du séchage nous pousse à revoir avant toute démarche, les théories qui ont été déjà étudiées et posées sur ces derniers.

I 3.1. Théorie de la diffusion du liquide (Modèle de Sherwood, 1929, [4] et [6])

La théorie de la diffusion du liquide stipule que le mouvement de l'eau vers la surface du corps est soumis à la loi de Fick, qui traduit le phénomène de migration de la vapeur d'eau du milieu de forte concentration vers le milieu de faible concentration d'eau. En d'autres termes, du sein du solide à sécher vers sa surface. Puis on assiste à la surface, à l'évaporation due à un apport énergétique extérieur.

Cette théorie donne des résultats satisfaisants pour le séchage des aliments et des grains, ce qui n'est pas le cas pour les autres produits. Elle est contestée pour sa faible représentation des phénomènes physiques, en la simple différence de concentration, de négliger par exemple le gradient de température dans le solide, ou de mettre le coefficient de diffusion constant, ce qui n'est pas valable pour tous les produits.

La diffusivité dépend de plusieurs facteurs, comme la nature du solide, et celle de l'humidité, le taux d'humidité et la température.

I.3.2. Théorie de Luikov (1934)

Luikov, [8], découvre le phénomène de la diffusion thermique de l'humidité. Il propose que le gradient de température soit l'un des facteurs causant le transfert de l'humidité. Il s'est basé sur l'utilisation des équations fondamentales de la thermodynamique, et le processus de l'irréversibilité pour vérifier que le transfert de la vapeur et du liquide est divisé en deux parties: Un gradient de concentration et un gradient de température.

I.3.3. Théorie de Krischer-Berger et Pei (1938)

Krischer, [8] suppose que pendant le séchage, l'humidité à l'état liquide est due aux forces capillaires, et à l'état vapeur au gradient de concentration de la vapeur.

Berger et Pei [8] proposent que le transfert du liquide soit dû aux forces capillaires et au gradient de concentration, et la diffusion de vapeur est due au gradient de pression de la vapeur.

I.3.4. Théorie capillaire (1937)

La théorie capillaire repose sur le fait que le mouvement de l'eau dans les pores résulte d'un potentiel de succion, dont le mécanisme a notamment été étudié par Jurin, [4]. Lorsqu'on place un capillaire dans une cuve remplie d'eau, on observe une élévation du liquide dans le tube par rapport au niveau de la cuve. Cette théorie est appliquée à des produits poreux ou à des produits granulaires. Ceaglske et Hougen, [6] démontrent que pour le séchage d'un solide granulaire, l'écoulement de l'eau est entièrement dû aux forces

capillaires, et totalement indépendants de la concentration Krischer, [8] pour sa part, démontre que la première période du séchage est contrôlée par la capillarité, ce qui est confirmé expérimentalement par Gorling, [8].

I.3.5. Théorie de Philip et De Vries (1957)

La théorie de Philip et De Vries, [6] repose sur le fait que le mouvement de l'eau soit dû à la capillarité et à la diffusion de la vapeur. Cette théorie est basée sur le développement d'un système d'équations décrivant l'humidité et le transfert de chaleur dans les matériaux poreux

I.3.6. Théorie Whitaker (1977)

Whitaker, [9] propose une nouvelle façon d'écrire les équations de transfert de chaleur et de masse dans les milieux poreux. Il applique un système d'équations de conservation de chaleur et de masse, pour les trois phases contenues dans le milieu (solides, liquide et gaz) et les lois de la thermodynamique. Ensuite il applique pour chacune des phases la prise de moyenne avec certaines simplifications, en prenant un volume élémentaire représentatif à l'échelle des pores. Ces paramètres permettent de considérer le milieu poreux comme un milieu continu équivalent. Il aboutit à un système d'équations permettant de calculer les différents paramètres décrivant le séchage. Cette étude peut être considérée comme le point de départ de nouvelles et modernes théories, puisqu'elle donne une très bonne concordance avec les résultats expérimentaux.

I.4. LES MODES DE SECHAGE

I.4.1. Séchage direct / séchage par convection ou par entraînement

Le caractère spécifique de ce mode de séchage réside dans le fait que l'air de séchage remplit deux fonctions simultanées. Lesquelles L'apport de chaleur vers la surface du produit, suit la loi de Newton (équation I.1.) de récupération de la vapeur d'eau dégagée

par le produit. Il est à noter que la circulation du fluide caloporteur peut être une convection naturelle ou forcée.

$$\varphi_{conv} = h * S_p (T_{a,a} - T_{s,p}) \quad \text{I.1}$$

Avec :

φ_{conv} : le flux de chaleur par convection [W]

h : coefficient d'échange par convection

$T_{a,a}$ et $T_{s,p}$: températures en Kelvin de l'air ambiant et la surface du produit respectivement

I.4.2. Séchage par conduction

Le séchage indirect est caractérisé par le contact du produit à sécher avec une paroi conductrice de chaleur chauffée, par un fluide caloporteur (air, eau, gaz, vapeur d'eau). Sous l'action de la chaleur ainsi transmise par conduction, le liquide s'évapore ou se vaporise. La vapeur formée étant entraînée par l'action d'un léger courant de gaz auxiliaire ou par dépression. Le transfert de chaleur par conduction assure le passage de l'énergie vers les couches internes du produit selon la loi de Fourier :

$$\varphi_{cond} = -\lambda \cdot S_p \cdot \frac{dT_p}{dx} \quad \text{I.2}$$

I.4.3. Séchage par rayonnement

Dans ce mode de séchage, l'énergie nécessaire à l'évaporation est transmise par l'éclairement. Ce procédé de séchage est très efficace pour l'élimination de l'eau, surtout lorsque le produit à sécher n'est pas thermosensible. Les sources chaudes émettrices peuvent être des émetteurs au gaz combustible, des émetteurs électriques, ou le soleil. La quantité de chaleur Q (en watts) transmise au produit à sécher par unité de temps est définie par la loi de Stephan Boltzmann, tel que :

$$Q = A_1 * C \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] \varphi \quad \text{I.3}$$

Avec :

$$C = \frac{1}{\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{A_1}{A_2} \left(\frac{1}{\epsilon_2} - 1 \right)}$$

I.4

La figure ci-dessous I.1 résume les différents modes de séchage thermique rencontrés.

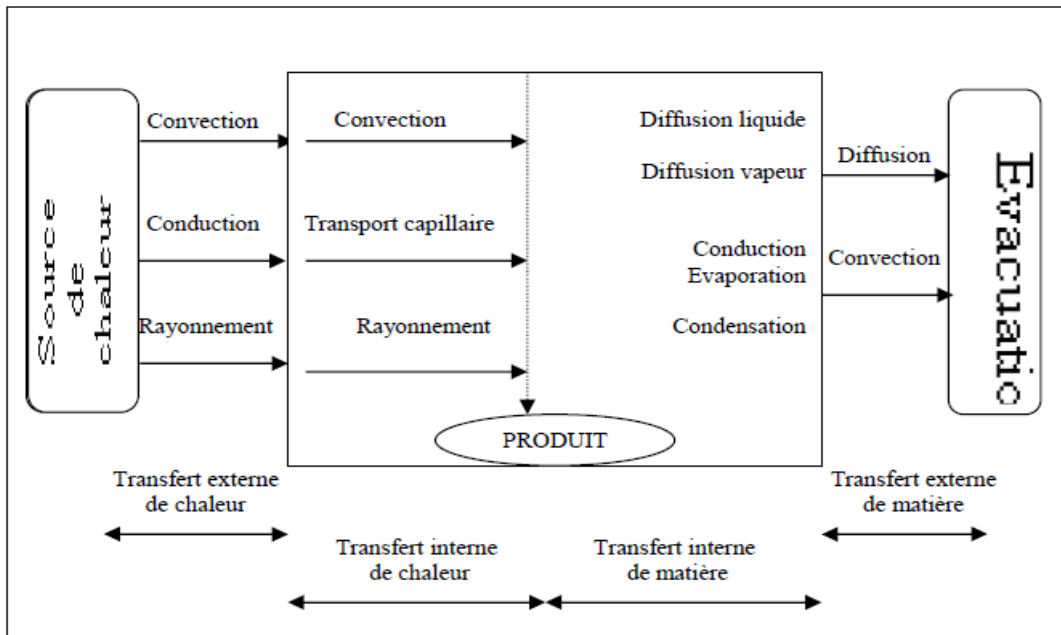


Figure I.1.Représentation schématique des différents échanges lors d'une opération de séchage

I.4.4.Séchage sous vide

Sachant que le point d'ébullition d'un liquide s'abaisse lorsqu'on diminue la pression, le séchage réalisé sous vide provoque l'ébullition rapide du liquide à éliminer. L'opération de vaporisation est alors accélérée et la durée du séjour de la matière dans le séchoir est raccourcie. Ce mode opératoire rend ainsi possible le séchage de substances thermosensibles, difficile à traiter sous pression normale, en raison du séjour plus ou moins long qu'elles devraient subir à température élevée.

I.4.5. Séchage par perte diélectrique

Le séchage par pertes diélectriques est basé sur le chauffage par l'électricité des substances non conductrices (diélectrique). On l'obtient en plaçant la matière à sécher dans un champ électrique alternatif à très haute fréquence (1 à 30Mhz). Un tel champ existe entre les 41 armatures d'un condensateur plan relié à un générateur. Sous l'action de ce champ, les molécules diélectrique se polarisent et sont contraintes de changer de polarité à chaque alternance. Ce changement de polarité provoque des vibrations mécaniques des dipôles moléculaires qui causent des frictions inter atomiques et intermoléculaires engendrant de la chaleur qui sert à l'échauffement régulier de la matière.

I.4.6. Séchage par lyophilisation

Le séchage par lyophilisation s'effectue sous une pression très réduite, inférieure à celle qui correspond au point triple du fluide qui constitue l'humidité à évacuer. Cette humidité se trouve donc congelée et son élimination se produit directement de la phase solide à la phase vapeur, sans passer par l'état liquide, c'est-à-dire par sublimation à basse température. Cette méthode de séchage étant évidemment très onéreuse, elle ne peut s'appliquer qu'à des matières qui, en raison de leur fragilité à la chaleur ne supportent pas les méthodes habituelles de séchage par exemple: les substances biologiques (plasma sanguin, cellules...), produits pharmaceutiques (antibiotiques), produits alimentaires (café, lait, jus de fruit...).

I.4.7. Le séchage à l'air libre

Le séchage à l'air libre est une méthode ancestrale utilisée jusqu'au jour d'aujourd'hui. Elle consiste à étaler en plein air les produits à sécher. C'est une technique facile et pas coûteuse, néanmoins elle peut causer des pertes importantes.

I.5. TYPES DE SECHOIRS SOLAIRES

Le séchage solaire c'est une solution d'économie d'énergie, pour les pays qui disposent d'un gisement solaire important. Pour cette raison, plusieurs types de séchoirs solaires ont

été conçus et étudiés en variant la disposition des produits, les températures et le type de produit à sécher. Généralement, on distingue deux catégories : actif et passif.

- **Les systèmes passifs** : L'énergie solaire est la seule source qui assure le fonctionnement.
- **Les systèmes actifs (hybrides)**: Ils associent à l'énergie thermique solaire à une énergie d'appoint **fuel gaz pour le chauffage** ou bien l'électricité pour la circulation de l'air. [8]

I.5.1. Les systèmes actifs (les séchoirs hybrides)

Ce type de séchoir utilise une énergie supplémentaire à la source initiale à savoir le soleil comme énergie d'appoint, cette dernière peut se situer en deux points différents à l'intérieur de la chambre de séchage en utilisant une résistance électrique pour maintenir la température constante et dans ce cas l'énergie solaire est secondaire ou bien des ventilateurs électriques pour accélérer la circulation de l'air

Les Avantages de ces séchoirs sont :

- Indépendance par rapport aux conditions climatiques.
- Meilleur contrôle du séchage.
- Forte croissance de la productivité par rapport aux autres types de séchoirs solaires, car le matériel peut fonctionner la nuit ou en saison des pluies si besoin.

Les inconvénients :

- Le coût de production et d'investissement est élevé.
- la nécessité d'approvisionnement du local en carburant, électricité, gaz.
- La nécessité d'avoir un manque de personnel qualifié pour la maintenance.

En figure I.2. est présenté un séchoir hybride.

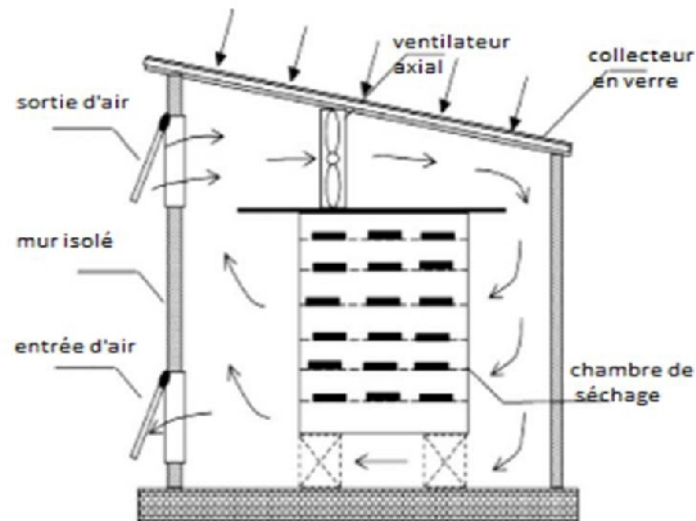


Figure I.2. schéma d'une serre active [10]

I.5.2. Les systèmes passifs

Les séchoirs « passifs », ou séchoirs-serres sont constitués d'une enceinte dont le toit et (ou) les côtés en matériau transparent laissent pénétrer l'éclairage solaire. Les rayons du soleil tombent directement les produits à sécher qui jouent alors le rôle d'absorbants. Dans ce cas, il est convenu de parler de séchoirs - serres directs. Toutefois, pour éviter que le l'éclairage détériore certains produits, on interpose éventuellement entre ces derniers une couverture transparente et une surface opaque servant d'absorbant. Dans ce cas-là, on parle de séchoir-serre indirect. . [12]

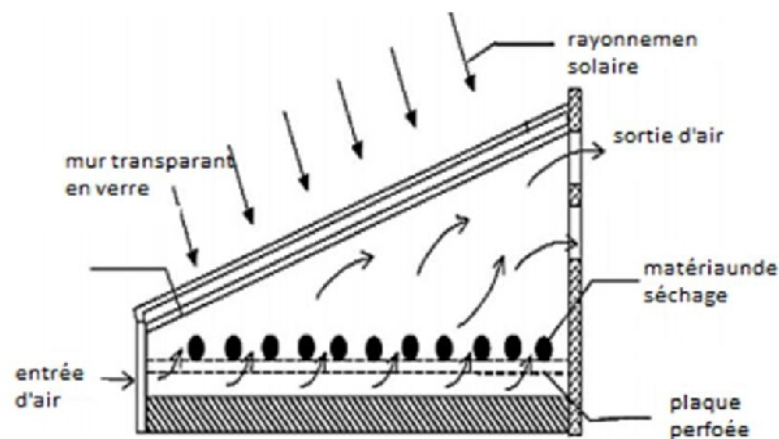


Figure I.3. une serre passive [10]

I.5.2.1. Les séchoirs solaires directs

Les séchoirs solaires directs sont conçus de façon à laisser pénétrer l'éclairement solaire directement dans l'armoire de séchage où il est converti en chaleur par le produit à sécher lui-même et les diverses parois opaques qu'il rencontre. En pratique, les séchoirs directs sont constitués d'un caisson de forme variable offrant à l'éclairement solaire une couverture transparente: vitre ou film plastique. Des claies sont disposées à l'intérieur du caisson entre lesquelles l'air circule le plus souvent par convection naturelle [12].

Les Avantages résident dans

-une meilleure protection contre les poussières, les insectes, les animaux et la pluie par rapport au séchage traditionnel.

Les Inconvénients sont la dégradation de la qualité par l'exposition directe au soleil, la destruction de la vitamine A et C, le flétrissement, la décoloration, la fragilité des matières en polyéthylène (parois en plastiques) qu'il faut changer régulièrement, les températures relativement élevées dans le séchoir qui contribuent avec l'exposition au soleil à la destruction des nutriments, la faible circulation de l'air qui limite la vitesse du séchage et augmente les risques de moisissure.

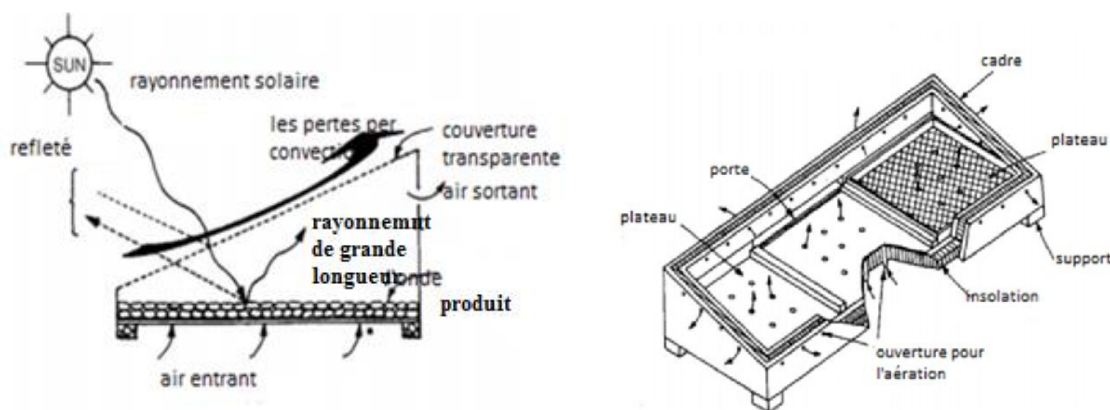


Figure I.4. Les séchoirs directs [10]

I.5.2.2. Les séchoirs solaires indirects

Le séchoir solaire indirect se compose de deux parties: un collecteur qui convertit l'éclairement solaire en chaleur et une chambre de séchage qui contient le produit. L'air pénètre dans le collecteur; il est chauffé et sa température augmente. L'air chaud monte par convection naturelle jusqu'à la chambre de séchage.

Les avantages résident dans le fait que

- le produit n'est pas directement exposé au soleil.
- Il conserve mieux sa couleur et sa valeur nutritionnelle (notamment les vitamines A et C).
- Le fonctionnement de ce séchoir ne nécessite pas un apport énergétique électrique ou de combustibles fossiles.

Les inconvénients sont la rapidité de séchage, très variable suivant les conditions climatiques.

- la conception du séchoir et la fragilité des matières en polyéthylène qu'il faut changer régulièrement.

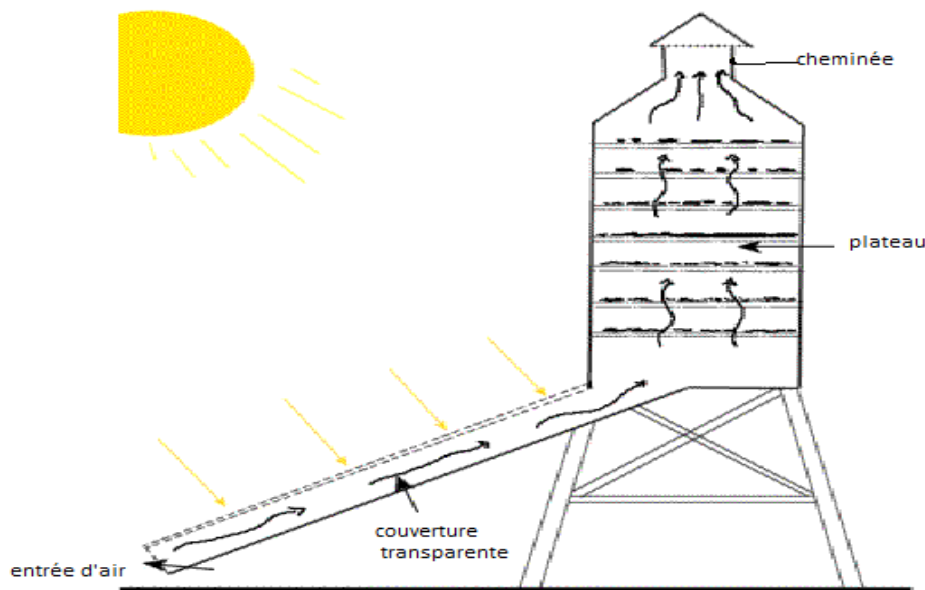


Figure I.5.type de séchoir indirect [10]

I.5.2.3. Les séchoirs mixtes

Ces séchoirs combinent les deux dispositifs des séchoirs, directs et indirects. Dans ce type de séchoirs, l'action combinée de l'éclairage solaire direct sur le produit à sécher et le capteur solaire permet de fournir la chaleur nécessaire pour le processus de séchage [7].

La figure ci-dessous résume les différents types de séchoirs solaires.

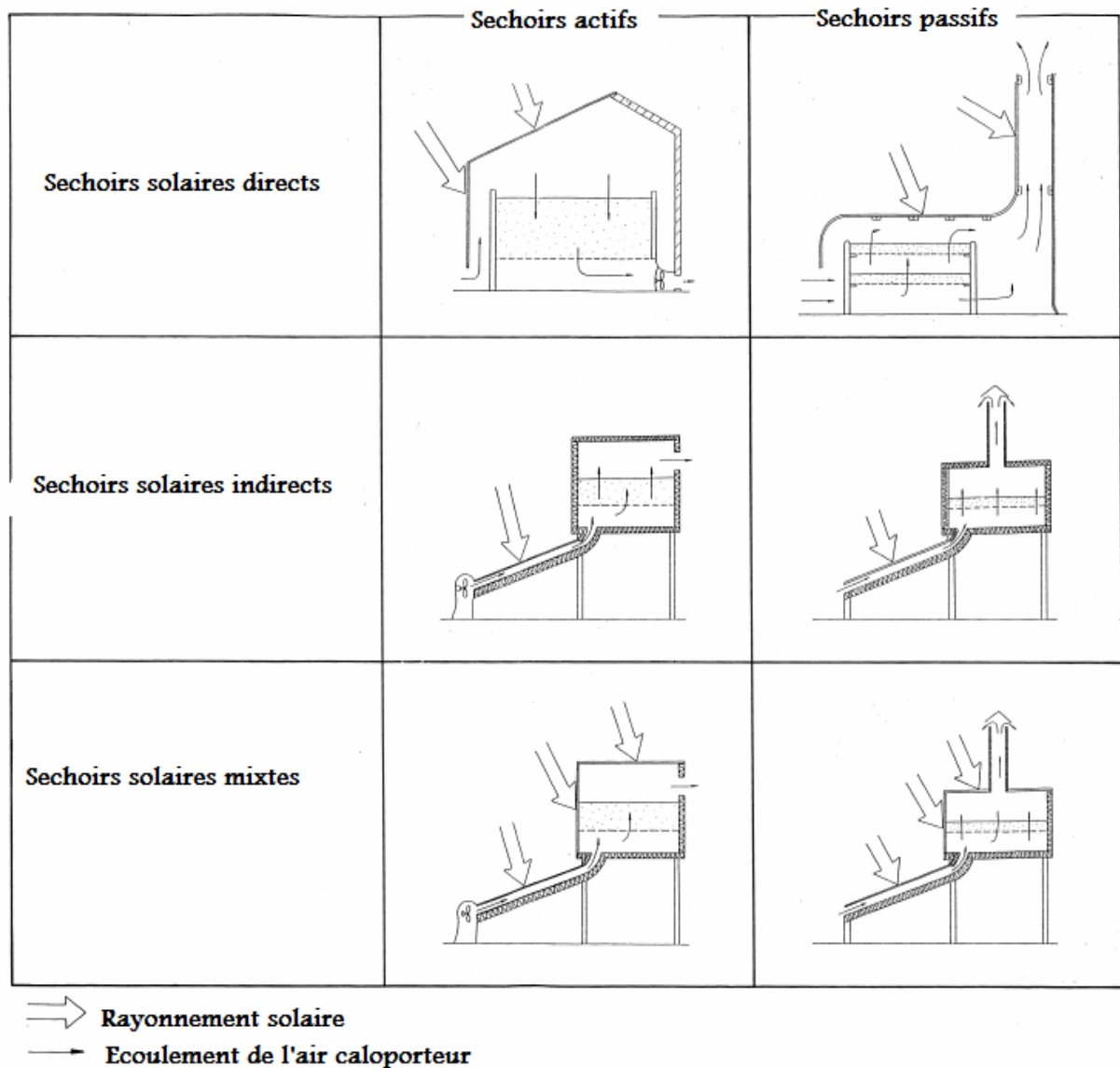


Figure.I.6 différents types de séchoirs solaires [6]

I.6. CINETIQUE DU SECHAGE [4][8]

La cinétique du séchage de différents produits s'étudie à travers les courbes représentant l'évolution de la vitesse de séchage en fonction du temps. Ces courbes sont généralement obtenues selon différentes conditions expérimentales (température, hygrométrie, vitesse de l'air asséchant). Elles caractérisent le comportement global du produit à sécher au cours du temps.

Les travaux de séchage montrent que ces courbes se distinguent suivant la nature du produit.

I.6.1 Courbe caractéristique de séchage

Van Meel (1957), [5], Krischer et Kast(1978), [9], ont proposé une représentation des résultats, obtenus à partir des différentes expériences effectuées sur un produit donné. Ceci a permis le traçage d'une courbe unique dite courbe caractéristique de séchage. Cette courbe regroupe des résultats obtenus dans des conditions différentes de vitesse de l'air, de température et de taux d'humidité de l'air.

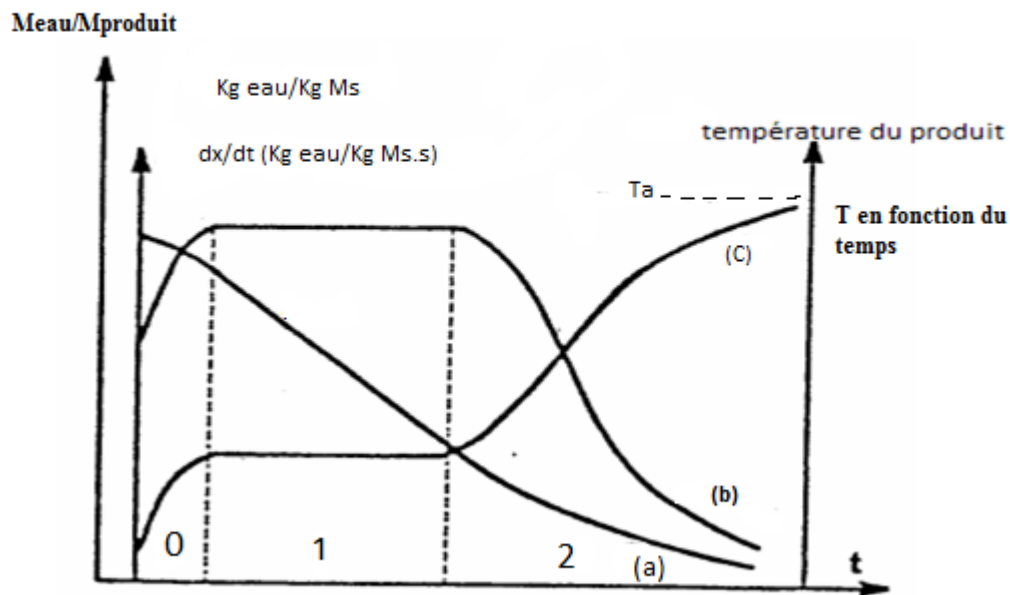


Figure I.7 courbe caractéristique du séchage en fonction du temps [11]

Pour comprendre le phénomène de migration de l'eau dans les produits humides on doit considérer simultanément les transferts de masse et de chaleur dans toutes les phases (solide ; vapeur et solide)

Sur la figure I.7, on distingue trois courbes essentielles d'opération de séchage, situées dans trois phases.

La courbe (a) représente l'évolution de la teneur en eau (rapport de la masse d'eau contenu dans le produit et de la masse sec)

-la courbe (b) représente la vitesse de séchage en fonction du temps

-la courbe (c) représente l'évolution de la température du produit en fonction du temps

Les phases de sont définis comme :

-phase 0 : phase de mise en température du produit ;

- phase 1 : phase de séchage à allure constante ;

- Phase 2: phase de ralentissement.

I.7 PRINCIPE DU SECHAGE SOLAIRE SOUS SERRE [5][9]

L'énergie provenant de l'éclairement solaire, est émise dans deux gammes, une partie dans le domaine du visible et une autre dans le domaine de l'infrarouge. L'effet de serre repose, sur le fait que les murs de la serre et son toit sont formés de matériaux à propriétés différentes dans les deux domaines spectraux : transparents aux rayons solaires ils laissent pénétrer la chaleur du soleil (l'éclairement de courte longueur d'ondes) mais ne transmettent pas les rayons infrarouges (l'éclairement de grande longueur d'ondes). Le séchage solaire sous serre d'un produit, utilise ce concept pour accélérer le processus d'élimination de l'eau contenue dans le produit a déshydraté. L'échauffement de la surface du produit, grâce à l'éclairement solaire et à l'éclairement infrarouge émis par le matériau transparent de la serre, permet d'augmenter la pression de vapeur d'eau à la surface du produit, et par suite de favoriser l'évaporation. Un flux d'air frais admis sous serre permet d'évacuer la vapeur d'eau issue du séchage. Ce flux peut être émis par convection forcée ou par convection naturelle. Dans notre cas, ce sera la convection naturelle.

I.8 LES TYPES DES SERRES

1.8.1. La Serre ouverte

La serre ouverte est équipée d'ouverture en partie basse et en partie haute afin de favoriser la convection naturelle (cas typique des serres horticoles) et est démunie de porte. La gestion de l'atmosphère dans la serre est assurée par la ventilation naturelle donc non contrôlée. Le taux de renouvellement de l'air dans la serre n'est pas maîtrisé car seule l'action sur l'ouvrant en toiture permet d'accentuer ou de réduire le débit de ventilation dans la serre [23].

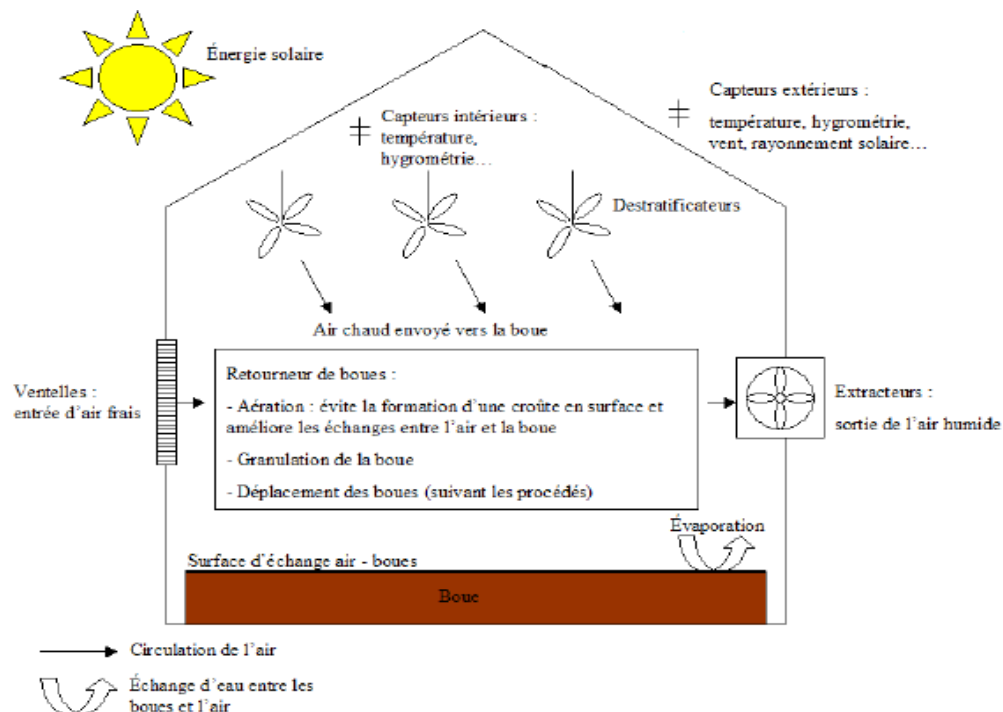


Figure I.8. Principe de fonctionnement d'une serre de séchage [23]

Les avantages résident dans la conception simple, la limitation des dépenses énergétique et la dilution constante des odeurs dans l'atmosphère pour une ventilation suffisante. Les inconvénients sont les températures intérieures qui sont plus faibles que dans une serre fermée, le fait que séchage sur l'année est aléatoires, moins performances.

1.8.2. La serre fermée

La serre fermée comporte des vantelles de dimension précises sur les parois latérales ou sur le pignon et des extracteurs pour la sortie d'air sur le pignon opposé

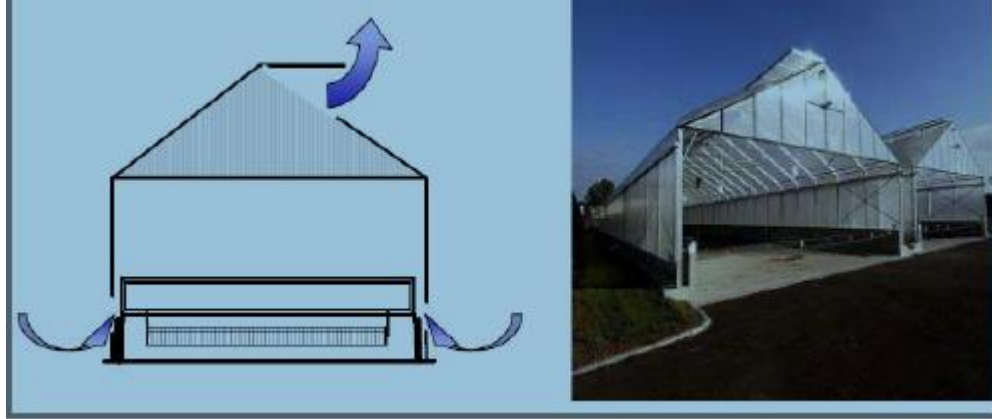


Figure I.9. Schéma de circulation de l'air dans une serre ouverte Photo d'une serre ouverte

L'avantage de cette serre est la maîtrise de la ventilation d'où le taux de renouvellement et l'inconvénient est le cout supplémentaire introduit par l'augmentation de la consommation énergétique qui est plus importante dans ce cas-là.

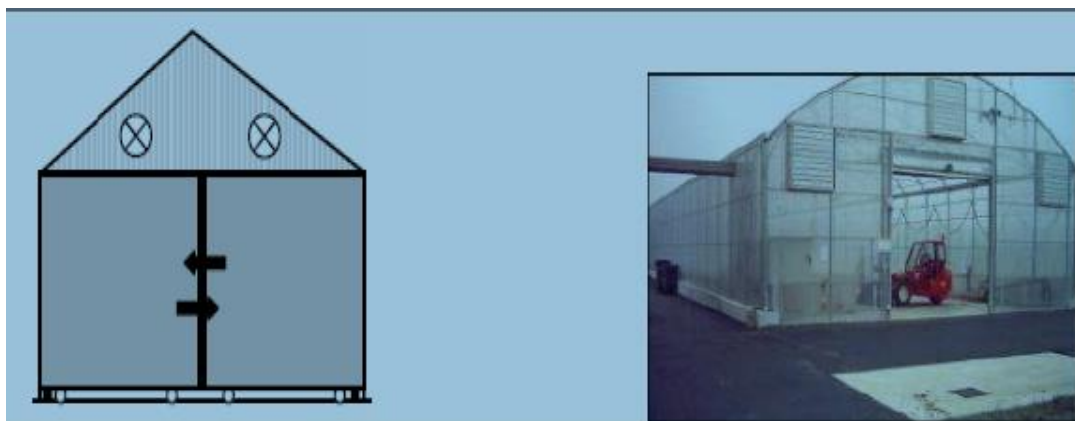


Figure I.10. Photo d'une serre fermée extraction en pignon

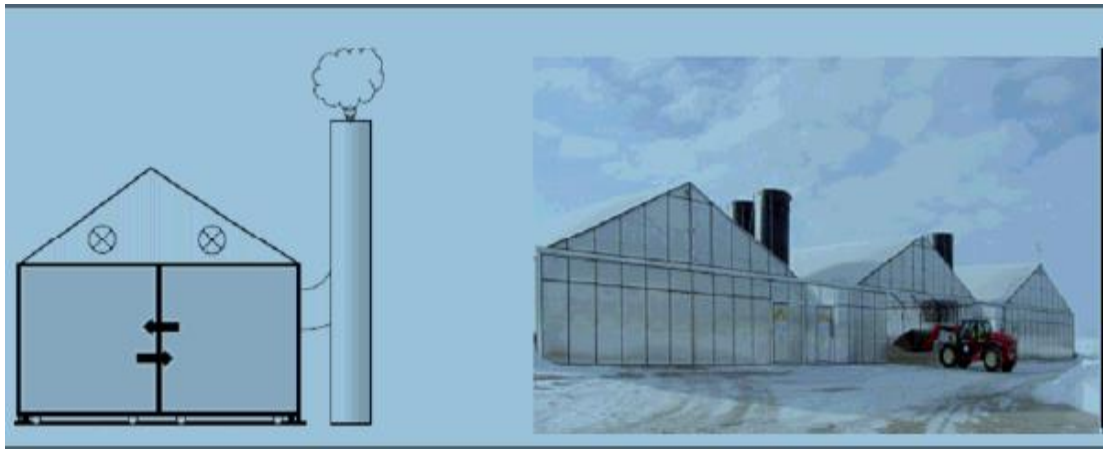


Figure I.11.Exemple de serre fermée-extraction par cheminée

I.9.TRAVAUX ANTERIEURS REALISES SUR LE SECHAGE

La technique de séchage était depuis des années un objet de plusieurs recherches parmilesquelles, on peut citer les références suivantes :

Le séchoir solaire théorie et pratique Michel Daguenet Unesco publié en 1985 [12]

Michel Daguenet (1985) a étudié théoriquement le phénomène du séchage d'une façon générale et le séchage solaire d'une façon particulière. Il a cité différents types de dispositifs utilisés dans le domaine, les critères et le principe de fonctionnement et le domaine d'utilisation.

Améliorations des performances des capteurs solaires plans à air application au séchage de l'oignon jaune et du hareng, (2001) [13]

En raison de l'insuffisance de l'échange thermique réalisé dans le capteur solaire plan à air ente le fluide et l'absorbeur l'auteur de cette recherche a effectué des améliorations pour une meilleure efficacité thermique. L'étude expérimentale est basée sur lasimulation de l'éclairementsolaire et l'amélioration du paramètre couplé rendement-écart de température du capteur. Il a augmenté l'efficacité énergétique de l'absorbeur en introduisant des chicanes déposées dans la veine dynamique du capteur.

Ils ont conclu que l'utilisation des chicanes est un moyen efficace pour l'amélioration de ces performances.

Etude Expérimentale d'un Séchoir Solaire (2002) [14]

Le but primordial de cette étude est l'expérimentation du séchage solaire indirecte afin d'étudier l'influence de la double circulation d'air, en amont et en aval de l'absorbeur, de l'insolateur et sur les divers organes du dispositif expérimental. L'intérêt principal est l'étude de l'évolution de la température de l'air le long de son parcours dans le séchoir, de la perte de masse et des vitesses de séchage des produits expérimentés.

L'efficacité du séchage solaire, est déterminée à travers une étude comparative entre le temps mis par les produits pour sécher à l'intérieur du séchoir, et à l'air libre. Les durées de séchage et les pertes de masses relevées pour chaque produit sont présentées par des courbes suivies des commentaires et discussion des résultats

Etude du bilan d'énergies et de masse d'un séchoir de type serre application au séchage de produits agro-alimentaires(2004) [15]

Cette étude porte sur l'établissement d'un bilan énergétique sur un séchoir solaire type serre et la mesure temporelle des paramètres suivants :

- les différentes composantes du l'éclairement solaire
- le taux d'humidité relative et la valeur de températures de l'air asséchant dans leur modèle
- les pertes de masse par convection naturelle de certains produits agro-alimentaires.

La partie expérimentale de cette étude a été faite sur un séchoir solaire type serre qui a été conçu au niveau de centre de développement des énergies renouvelables CDER de Bouzaréah se séchoir comprends un système de stockage composé d'un lit de galet, et une isolation thermique au niveau des parois latérales et de plancher voir la figure ci-dessous. Deux inclinaisons sont envisagées pour le vitrage cette étude a été suivi d'une modélisation mathématique basé sur la méthode des bilans globaux d'énergie

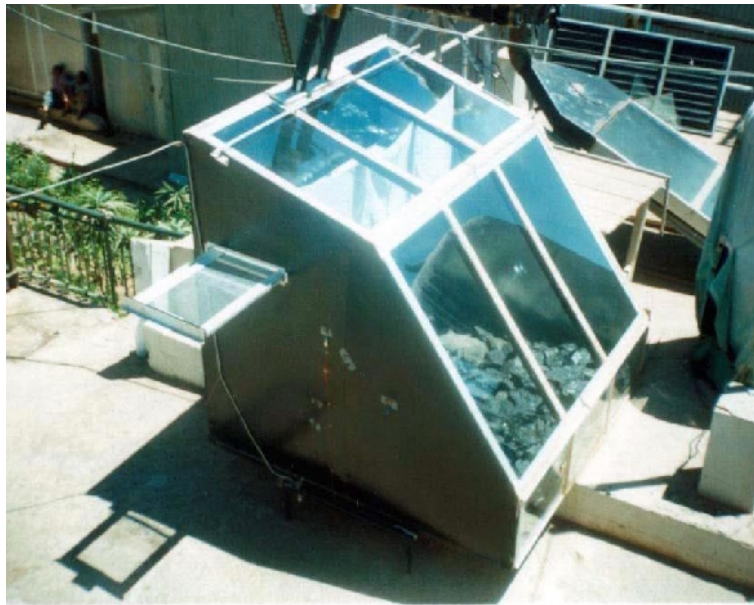


Figure. I.12. séchoir expérimental type serre avec stockage

L'étude a été complétée par une comparaison entre le séchage sous serre et le séchage à l'abri de l'air où il a été constaté que le premier moyen de séchage est 2 à 5 fois plus rapide que le deuxième.

Etude théorique et expérimentale du séchage solaire de certain produit agro-alimentaire H. HATEM [3]

H. Hatem l'auteur de ce mémoire a cité Singh et al qui ont réalisés une étude expérimentale en 2004 d'un séchoir à effet de serre de simple conception pour exploitations agricoles

Dans cette étude, ils ont conclu que ce type de séchoir ne peut engendrer que des faibles vitesses pour l'air asséchant ; la différence de niveau entre le bas et le haut du séchoir est petite ce qui entrainerait une détérioration du produit Dans ces conditions, il est à craindre la présence des températures trop élevées qui risqueraient de détériorer. La durée du séchage ne dépassait pas les six heures les premiers jours à cause de l'effet du rétrécissement du produit



Figure I.13. le séchoir solaire étudié par Singh et al [3]

La modélisation thermique d'un séchage par convection naturelle à effet de serre

Système pour jagré: Une validation expérimentale(2006) [16]

Le but de ce travail est de développer un modèle thermique de manière à prédire, la température de l'air à effet de serre et l'humidité évaporée (la masse au cours du séchage), sous convection naturelle. L'expérience a été menée séparément pour différents masse et dimensions du sucre de palme. Une simulation numérique a été développée dans l'environnement MATLAB afin d'estimer la température de l'air et de l'humidité évaporée ainsi que les performances thermique de l'effet de serre en fonction del'éclairement solaire et de la température ambiante. Le logiciel développé a été validé expérimentalement.

Les résultats analytiques et expérimentaux pour le séchage du sucre de palme se sont avérés en bon accord.

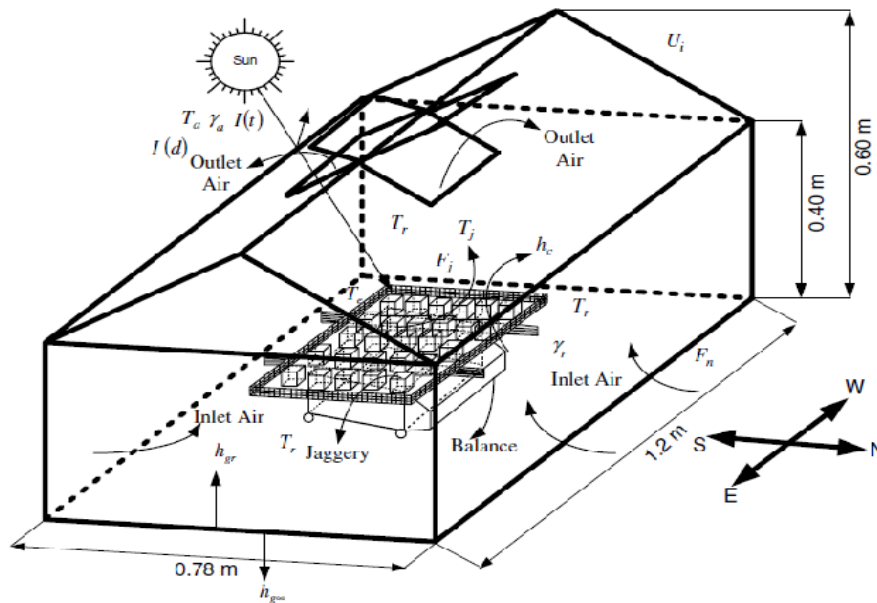


Figure I.14. Schéma de la serre étudiée dans cet article [16]

Modélisation du séchage solaire sous serre des boues de station d'épuration urbaine(2007) [17]

Après présentation de la problématique des boues résiduelles urbaines rencontrées en France et celle de séchage solaire et les notions de base pour l'étude dans le premier et le deuxième chapitres, l'auteur de cette recherche a développé un modèle numérique constitué de trois équations de bilans d'énergie et du transfert de matière pour le séchage des boues.

Comportement thermique d'un séchoir solaire direct(2008) type serre dans la région de Ghardaïa [18]

Une équipe de recherche de l'unité de URAER de Ghardaïa a étudié théoriquement un séchoir solaire type serre en utilisant un modèle mathématique. Ce séchoir est composé de cinq vitres (deux vitres latérales et trois vitres inclinées à différents angles) et de deux parois (verticale et horizontale) recouvertes par une couche sélective pour maximiser l'absorption. La modélisation mathématique est basée sur la méthode des bilans globaux des énergies. Les résultats expérimentaux et la simulation numérique ont permis de délivrer les relevés de températures des surfaces intérieures et extérieures des vitres, de

l'air intérieur, des parois horizontales et des parois verticales. Les températures des plaques absorbantes sont les plus élevées. Ces résultats sont justifiés sans aucun doute par le pouvoir d'absorption de l'éclairage solaire, qui est important

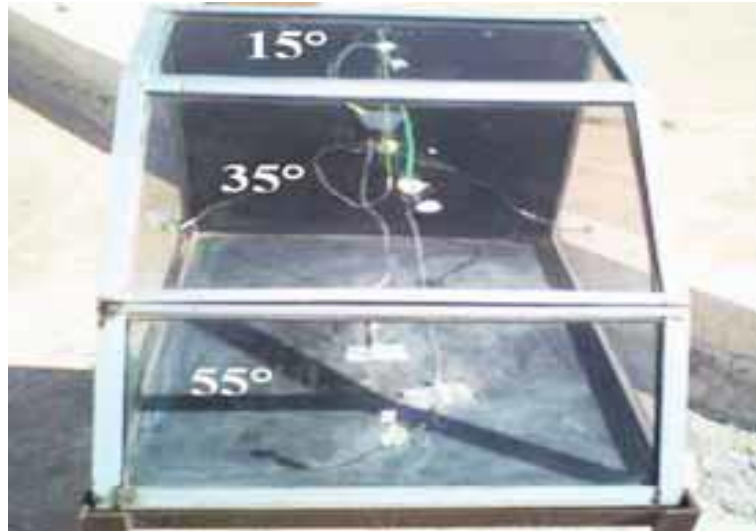


Figure I.15. La serre utilisée dans l'étude [18]

Séchage de raisin en utilisant un système hybride photovoltaïque-thermique (PV / T) à effet de serre sèche: Une étude expérimentale (2008) [19]

Dans cette étude, un système hybride photovoltaïque-thermique (PV / T) à effet de serre a été conçu et construit dans le parc d'énergie solaire, Inde de New Delhi pour sécher 100 kg de produit. Le séchoir développé a été utilisé pour sécher le raisin Thompson sans pépins (Mutant: Sonaka) sous le mode de convection forcée. Des expériences ont été menées au mois d'Avril 2007 pour deux types de raisins (GR-I) et (GR-II). L'humidité évaporée, les températures de surface de raisin, la température de l'air ambiant et l'humidité, à effet de serre, etc. ont été enregistrés pour évaluer le transfert de chaleur et de masse pour le système proposé. Il a été déduit que la valeur du coefficient de transfert de chaleur par convection pour le raisin (GR-I) se situe respectivement entre 0,26 et 0,31 $W/m^2 K$ pour avec effet de serre et de 0,34- 0,40 $W/m^2 K$ pour des conditions ouvertes, et que pour le raisin (GR-II) se situe entre 0,45 à 1,21 $W/m^2 K$ à effet de serre et de 0,46- 0,97 $W/m^2 K$ pour des conditions ouvertes.



Figure I.16. un système hybride photovoltaïque sous un effet de serre [19]

Séchage du raisin en plein air, dans un séchoir et sous serre. Modèle mathématique et validation expérimentale(2008) [20]

L'étude porte sur la comparaison entre trois façons de séchage. Ces essais de séchage combiné convectif-radiatif à conditions constantes sur le raisin ont été réalisés sous serre et en plein air. Une série d'expériences ont été réalisées en simulant l'éclairement solaire, et ce dans le but d'analyser l'effet simultané de ce dernier, de la température et de la vitesse de l'air asséchant sur la cinétique de séchage. Un simple modèle du séchage pour le raisin en relation avec le processus de l'évaporation de l'eau, a été développé et vérifié. Ils ont constaté que ce modèle surestime le processus de séchage sous conditions constantes. Pour ajuster les prédictions du modèle sous conditions variables, un facteur de correction a été introduit dans le modèle. En conséquence le modèle adapté aux conditions variables décrit correctement les cinétiques de séchage d'une couche mince de raisin en plein air, dans le séchoir, et sous serre.

Etude des séchoirs solaires destinés pour le séchage du raisin [21]

Cette étude examine divers séchoirs solaires développés exclusivement pour le séchage des raisins sur une échelle normale. L'auteur a montré que le séchage solaire des raisins est tout à fait faisable mais sa commercialisation n'a pas pris l'ampleur que prévu. Ceci étant dû à l'investissement initial élevé et la faible capacité des séchoirs. Comme solution, il propose de mener des recherches exhaustives afin de rendre le séchage solaire du raisin économiques et convivial. L'auteur montre par les figures ci-dessous les différents types de séchoirs utilisés dans son étude.

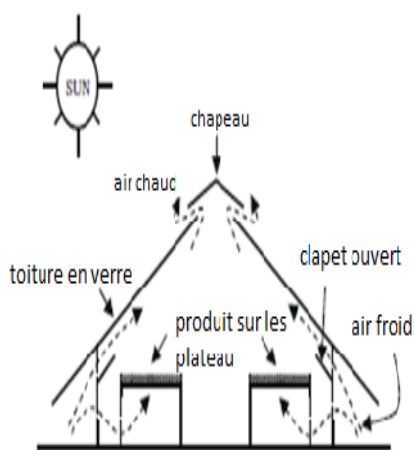


Figure .I.17.séchoir solaire de toit en verre

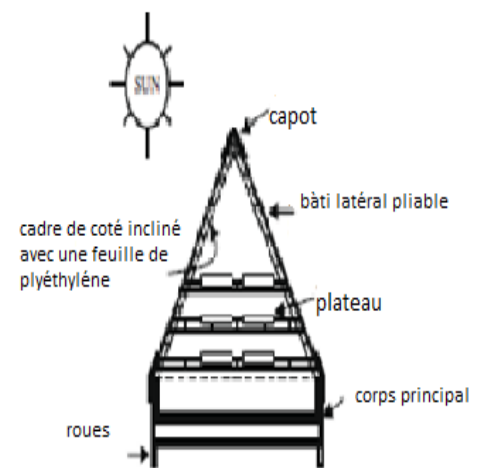


Figure I.18. Séchoir pliable

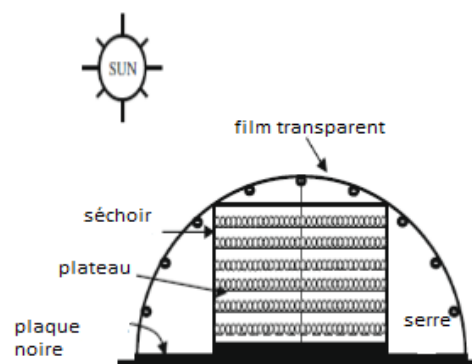


figure I.19.séchoir solaire à effet de serre comme collecteur

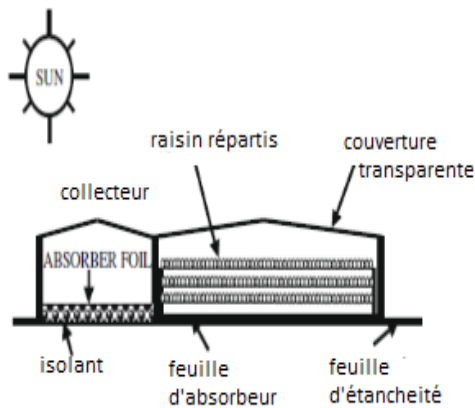


Figure. I.20 Vue de côté d'un séchoir solaire tunnel multicouche

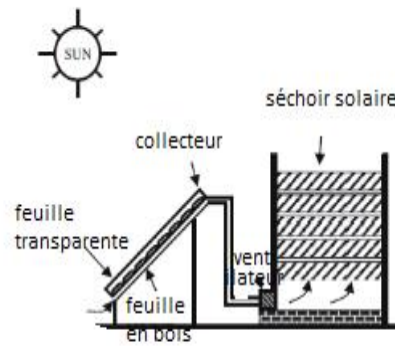


Figure I.21 Séchoir solaire type pliable

Etude théorique d'une serre a section droite triangulaire isolée de faible coût pour le séchage des produits agricoles(2010) [5]

L'objectif de ce travail est d'établir une étude théorique, basée sur la modélisation d'un système de séchage direct type serrevis-à-vis quelques paramètres à savoir : la longueur, la largeur, la hauteur, les ouvertures de la serre, la température et l'humidité relative de l'air. Pour ce faire, il a observé la variation temporelle de séchage des produits en fonction d'un certain nombre de paramètres de fonctionnement du système. La serre étudiée est présentée dans le schéma suivant :

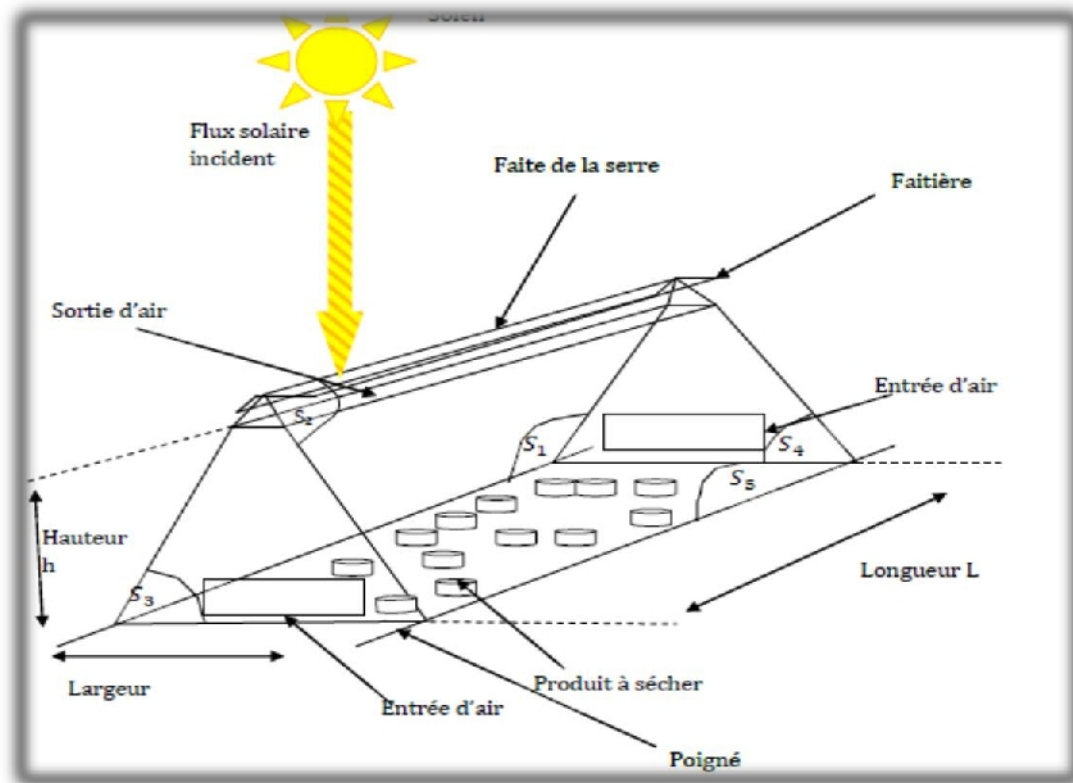


Figure I.22. Présentation de la serre étudiée

Impact du Microclimat Distribué sur la Performance Energétique des Bâtiments Agricoles Cas des Serres dans les Régions Semi-arides et Océaniques (2012) [22]

L'objectif de ce travail consiste à mettre en œuvre une modélisation tenant compte du climat global sous une serre permettant de mieux gérer ce dernier. La problématique étant l'impact des conditions climatiques sur la distribution du climat à l'intérieur d'une serre. Il a développé un modèle global de la serre et du sol sous serre, dans cette partie, il a donné les différentes expressions des flux de chaleur : radiatif, convectif, et conductif ainsi que les expressions de transfert de masse concernant les phénomènes de condensation, d'évaporation et d'évapotranspiration. Pour valider son modèle il a simulé le système avec les logiciels TRNSYS et Fluent.

I.10.CONCLUSION

A partir de cette étude bibliographique sur le séchage solaire on conclut que c'est un domaine de recherche très large et approfondi soit de point de vue théorique ou expérimental. L'objectif étant de réaliser un séchoir solaire serre destiné pour le séchage des déchets alimentaires.

CHAPITRE II
MODELISATION DE LA SERRE

II. MODELISATION DE LA SERRE

II.1 INTRODUCTION

La modélisation mathématique est une étape très importante avant toute réalisation d'un dispositif donné. Le présent travail porte sur l'établissement des bilans énergétiques de la serre séchoir basé sur les gains et les pertes. Considérant la serre comme un volume de contrôle et on appliquant le premier principe de conservation d'énergie. Les parties concernées sont (plancher, paroi nord, l'air intérieur et la surface vitrées).

Ce volume de contrôle fonctionne entre deux sources de chaleur : l'intérieur (source chaude) à une température moyenne T_s et l'ambiance (source froide) à une température moyenne T_a . La fraction de la puissance solaire incidente (Q_{inc}). Est absorbée par l'absorbeur (Q_{abs}) est utilisée comme chaleur utile (Q_u) pour l'évaporation d'une quantité d'eau et la fraction restante (Q_p) est perdue vers l'ambiance. L'application de la première loi de la thermodynamique à un volume de contrôle (fig. II.1) du système permet d'écrire le bilan d'équilibre thermique du système.

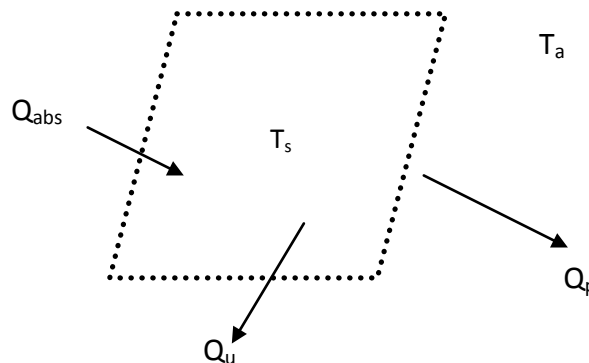


Figure II.1 bilan thermique du système

II.2 HYPOTHESES SIMPLIFICATRICES

- La convection est naturelle donc l'écoulement est laminaire
- Les températures du sol, de la paroi nord des vitrages et de l'air intérieur sont supposées uniformes.
- La conduction de la face vitrée est considérée négligeable (faible épaisseur)
- En raison de l'isolation des parois latérales par rapport à l'extérieur, les échanges de chaleur suivant la direction de ces parois sont unidirectionnels
- Le sol étant de couleur noir, absorbe le maximum d'énergie solaire incidente. la quantité d'énergie qu'il réfléchit est négligeable

- Les pertes thermiques des parois latérales sont négligeables
- Les phénomènes d'inertie thermique relatifs de l'air sont négligeables
- Les propriétés physiques des matériaux sont constantes
- Le flux solaire diffus est isotrope ce qui nous mène à dire que sa transmission par le vitrage se répartit uniformément sur toute la surface interne de la serre

Le bilan thermique de ce système s'écrit comme suivant

$$Q_U = Q_{abs} - Q_P \quad \text{II.1}$$

Selon Duffie beckman, [28], cette équation se met sous la forme :

$$Q_U = A_C [(\tau\alpha)_{eff} I_g - U_L (T_p - T_a)] \quad \text{II.2}$$

Avec :

A_s : la surface de captation de la serre, m^2

I_g : éclairement solaire incidents, W/m^2

T_p : Température moyenne de la serre, $^{\circ}C$.

T_a : Température ambiante, $^{\circ}C$

Le facteur $(\tau\alpha)_{eff}$ représente la fraction d'énergie absorbée de l'énergie incidente.

Le facteur des pertes globales U_{Len} $W/m^2 \cdot ^{\circ}C$ est calculé par rapport aux pertes de la serre vers l'ambiance à travers les parois. Il s'agit des pertes thermiques vers l'avant, l'arrière, latérales et vers le bas. Il est donné par la relation :

$$U_L = U_{AV} + U_{ar} + U_{lat} + U_{bas} \quad \text{II.3}$$

II.3. Quantité d'énergie absorbée

Comme le montre bien l'équation II.2, la quantité d'énergie reçues et absorbées que ce soit par le produit pour son séchage ou pas le plateau tel que :

$$Q_{abs-U} = A_C [(\tau\alpha)_{eff} I_g] \quad \text{II.4}$$

L'éclairement solaire global est déterminé à partir de ces différentes composantes, à savoir direct, diffus sol, diffus ciel et global.

II.4.Éclairement solaire

II .4.1. Eclairement solaire direct I_b

C'est l'éclairement émis par le soleil incident sur un plan donné et provenant d'un petit angle solide centré sur le disque solaire. Il est établi par la relation suivante :

$$I_{b1} = E_0 C e \exp\left(\frac{-F}{\sin h}\right) \quad \text{II.5}$$

Avec :

E_0 = constante solaire, W/m^2

C = Correction de la distance terre-soleil

$$C = 1 + 0,0034 \cos [(n-3) (360)/365] \quad \text{II.6}$$

h = hauteur du soleil.

e et F : coefficient de trouble du ciel dont les valeurs sont données dans le tableau II.1.

Tableau II.1. Coefficient de trouble du ciel, [24]

	Ciel dégagé très pur	Condition normales	Zone industrielle
e	0,87	0,88	0,91
F	0,17	0,26	0,43

Pour le cas horizontal, l'éclairement mesuré sur un plan horizontal est donné par la relation suivante

$$I_{bh} = I_{b1} \sin h \quad \text{II.7}$$

Pour convertir l'éclairement solaire sur un plan incliné, on introduit un facteur géométrique R_b définis par, [26] :

$$R_b = \frac{I_b \cos \theta}{I_b \cos \vartheta_h} = \frac{I_b \cos \theta}{I_b \sin h} = \frac{\cos \theta}{\sin h} \quad \text{II.8}$$

Avec θ angle d'incidence des rayons solaires. Il est définit par les angles géographiques de position tel que :

$$\begin{aligned} \cos \theta = & \sin \varphi \sin \delta \cos \beta - \sin \delta \cos \varphi \sin \beta \cos \gamma \\ & + \cos \delta \cos \varphi \cos \beta \cos \varpi + \cos \delta \sin \varphi \sin \beta \cos \gamma \cos \varpi \\ & + \cos \delta \sin \beta \sin \gamma \sin \varpi \end{aligned} \quad \text{II. 9}$$

Avec :

β : Inclinaison du capteur plan par rapport à l'horizon.

δ Déclinaison du soleil fonction du numéro du jour dans l'année

γ : azimut du soleil

φ : Latitude du lieu.

II .4.2. L'éclairement diffus I_d :

L'éclairement solaire diffus se décompose en éclairement provenant du sol et du ciel, [19].L'éclairement diffus provenant de la voûte céleste reçue sur un plan horizontal s'écrit suivant la formule suivante :

$$I_{d1h} = E_0 C \sinh[0,271 - 0,2939 \cdot e \cdot \exp(\frac{-F}{\sin h})] \quad \text{II.10}$$

Dans le cas d'un plan quelconque [24]

$$I_{d1} = I_{d1h} \cdot \left[\frac{1 + \cos \beta_1}{2} \right] \quad \text{II.11}$$

Avec : $\left[\frac{1 + \cos \beta_1}{2} \right]$ le facteur de forme entre le plan et la voûte céleste.

L'éclairement diffus par le sol sur un plan horizontal se met sous la forme :

$$I_{d2h} = a^* (E_2 - I_{d1h}) \quad \text{II.12}$$

Avec :

a^* : albédo du sol.

Pour une inclinaison quelconque on introduit un facteur de forme entre le plan et le sol, tel que :

$$I_{d2} = I_{d2h} \left[\frac{1 - \cos \beta_1}{2} \right] \quad \text{II-13}$$

Avec : $\left[\frac{1 - \cos \beta_1}{2} \right]$ le Facteur de forme entre le plan et le sol.

II .4.3. Eclairement global I_g

Le flux solaire incident I_b reçu sur un plan incliné d'un angle par rapport à l'horizontale est, défini comme suit :

$$I_g = R_b I_{direct} + I_{dh} \cdot \left(\frac{1 + \cos \beta_i}{2} \right) + a^* (I_{bh} + I_{dh}) \left(\frac{1 - \cos \beta_i}{2} \right) \quad \text{II-14}$$

i : désigne le numéro de la vitre 1,2

II.4.5. Flux solaire global transmis et absorbé

Quelque soit la position de la vitre, le flux solaire transmis et absorbé s'écrit, [26] :

$$Q_{abs} = F(\tau\alpha_{eff})I_g \quad \text{II.15}$$

Avec :

$$(\tau\alpha)_e = F \frac{\tau_c \alpha_p}{1 - (1 - \alpha_p)\rho_c} \quad \text{II.16}$$

Avec :

τ_c : Transmittivité de la vitre

α_p : absorptivité de la plaque ou le produit absorbant

ρ_c : réflectivité de la vitre

F : facteur de forme entre la vitre et la claie qui s'écrit sous la forme

$$F_{1-2} = \cos \phi_1 \cos \phi_2 \frac{dA_1 dA_2}{\pi r^2}$$

La vitre et la claie ne sont pas parallèles

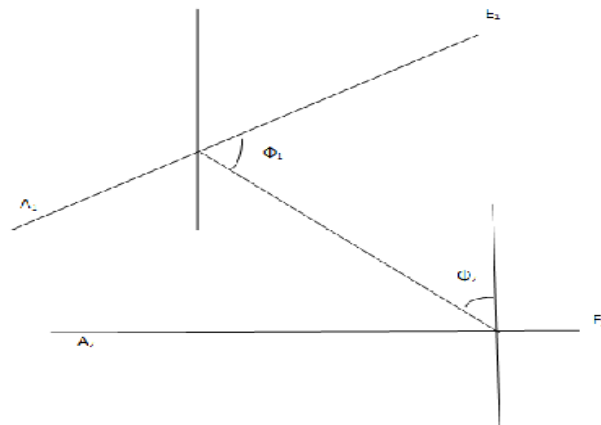


Figure 2. représentation de l'élément de la zone utilisée pour le calcul du facteur de forme

II.5. PERTES THERMIQUES DE LA SERRE

Les pertes thermiques de la serre sont la conséquence de différence de température entre le milieu absorbeur et le milieu extérieur qui sont :

- Pertes vers l'avant
- Pertes vers l'arrière
- Pertes latérales
- Pertes vers le bas

II.5.1. Pertes thermiques vers l'avant :

Les pertes thermiques vers l'avant de la serre sont :

- par rayonnement du couvert vers le ciel.
- par convection du couvert due à l'effet du vent.
- par rayonnement de l'absorbeur vers le couverture.
- Par convection de l'absorbeur vers la couverture

Les méthodes analytiques pour la détermination du coefficient de pertes vers l'avant étant compliquée, Klein a proposé une formule empirique toujours utilisé, [27], tel que :

$$U_{AV} = \left[\frac{N}{\frac{C}{T_p} \left(\frac{T_p - T_a}{N + f} \right)^e} + \frac{1}{h_w} \right]^{-1} + \frac{(T_p + T_a)(T_p^2 + T_a^2)}{(\varepsilon_p + 0.00591Nh_w)^{-1} + \frac{2N + f - 1 + 0.133\varepsilon_p}{e_v} - N} \quad \text{II.17}$$

$$e = 0.43 \left(1 - \frac{T_p}{100} \right) \quad C = 520(1 - 0.000051\beta^2)$$

Valable pour $\varepsilon_p = .95$ et $.1$

$$f = (1 + 0.089h_w - 0.116h_w\varepsilon_p)(1 + 0.07866N)$$

$0 < \beta < 70$

Avec h_w coefficient de transfert convectif du au vent, W/m^2 donné par :

$$h_{cve} = 2,8 * 3.0 V \quad \text{II.18}$$

V : vitesse du vent en m/s

N : Nombre de vitre

$\varepsilon_p \varepsilon_v$ émissivité de la plaque et de la vitre respectivement.

II.5.2. Pertes thermiques latérales, arrière et bas

Appliquant l'hypothèse posé sur la chaleur à l'intérieur de la serre qu'elle est unidimensionnelle et en supposant que la température de la face externe est égale à la température ambiante les différentes pertes se réduisent aux pertes par conduction.

Les pertes bas et à l'arrière sont données par :

$$\dot{Q}_{ar} = A \frac{k_{is}}{e} (T_p - T_a) = AU_{ar} (T_p - T_a) \quad \text{II.19}$$

Le coefficient des pertes arrière est donné par

$$U_{ar} = \frac{k_{is}}{e_{ar}} \quad \text{II.20}$$

Alors que les pertes latérales sont présentées dans l'équation suivante

$$\dot{Q}_{lat} = A_{lat} \frac{k_{is}}{e} (T_p - T_a) = A_{lat} U_{lat} (T_p - T_a) \quad \text{II.21}$$

Le coefficient de pertes latérales, sont données par

$$U_{lat} = \frac{K_{is} A_{lat}}{e_{is} A} \quad \text{II.22}$$

A_{lat} : surfaces des parois considérées de la serre, m^2

K_{is} : conductivité thermique de l'isolant. $W/m^\circ C$

e_{iso} : épaisseur de l'isolant. [m]

II.5.3. RENDEMENT INSTANTANE DE LA SERRE

Le rendement instantané est le rapport de la puissance utile (puissance récupérée par le fluide dans notre cas c'est l'air) et la puissance absorbée (puissance arrivant sur le plan incliné de la serre

L'expression globale du rendement instantané du capteur solaire s'écrit sous la forme

$$\eta = F \left((\tau \alpha_{effec}) - U_C \frac{T_{m\ air} - T_a}{I_g} \right) \quad \text{II.22}$$

Avec

F : Facteur d'efficacité de la plaque absorbante

$F (\tau \alpha_{effec})$: Le rendement optique de la serre

$T_{m \text{ air}}$: la température moyenne du fluide caloporteur (air)

T_a : la température ambiante

II.6.PERTES DE LA SERRE

La serre étudiée est considéré comme un volume de contrôle limité par les surfaces tel que montré dans la figure II.2. Les différentes pertes thermiques sont ceux déterminées dans les chapitres précédents.

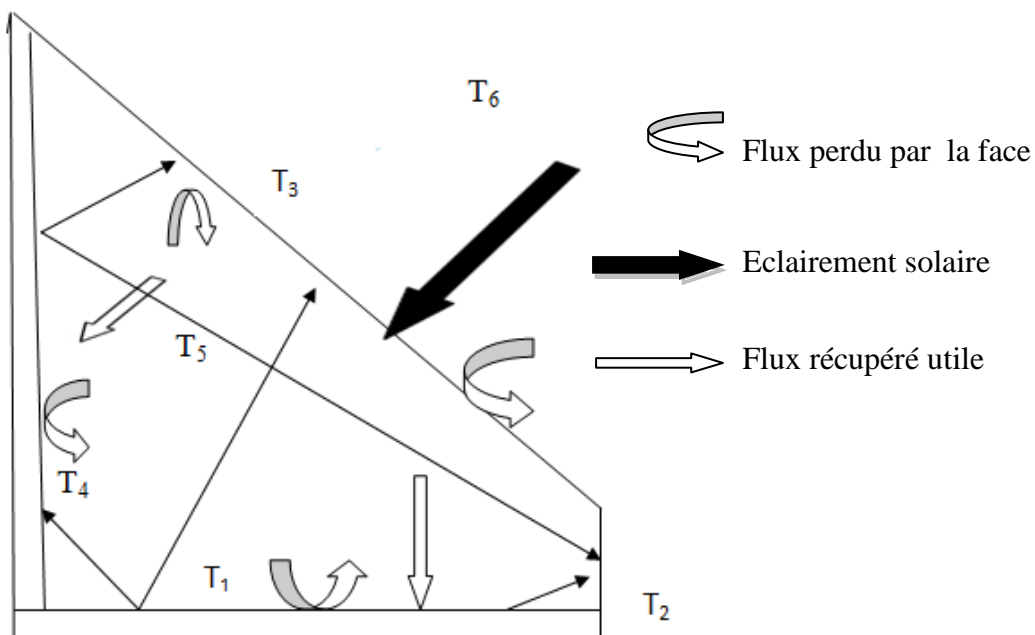


Figure II.3 les différents échanges thermiques au niveau de la serre

Température

T_1 : température de plancher

T_2 : température du vitrage vertical

T_3 : température du vitrage incliné

T_4 : température de la paroi nord

T_5 : température de l'air à l'intérieur de la serre

T_6 : température ambiante

II.7. COMPORTEMENT THERMIQUE DU PRODUIT AU NIVEAU D'UNE CLAIE

L'étude faite précédemment était sans le produit, pour bien comprendre le comportement du produit et les différents échanges qui se produisent lors d'une opération de séchage on va écrire les équations de bilans énergétiques de ce dernier

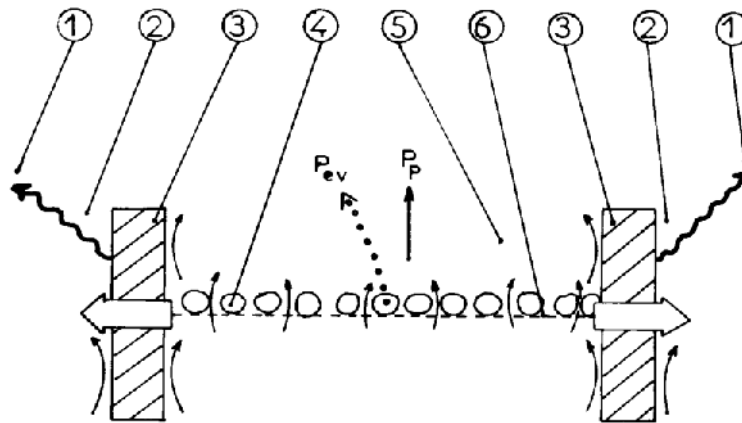


Figure II.4 les différents échanges thermiques au niveau d'une claie avec produit

- | | | |
|----|----------------------------------|----------------------|
| → | Puissance cédée par l'air | 1 : voute céleste |
| ⋯→ | Puissance perdue par évaporation | 2 : milieu ambiant |
| ↪↩ | Echange par convection | 3 : paroi latérale |
| ← | Echange par éclairciment | 4 : produit |
| | | 5 : milieu asséchant |
| | | 6 : claie |

Pour évaluer les gains et les pertes, on établit le bilan comme suit :

$$Q_{rp} + Q_{cp-air} - \dot{m} \cdot Lv = Q_{ic} \tag{II.20}$$

Avec

Q_{rp} : Flux de l'éclairciment solaire reçu par le produit

Q_{cp-air} : Flux convectif du produit vers l'air intérieur

Q_{ic} : Flux d'inertie thermique de la claie

\dot{m} : Flux massique d'eau évaporée par le produit

Lv : chaleur latente de vaporisation de l'eau

Le bilan massique en eau sur le produit s'écrit :

$$\dot{m} = M_S \left(\frac{-dX}{dt} \right) \quad \text{II.21}$$

\dot{m} : Flux massique d'eau évaporée

M_S : Masse sèche du produit

X : teneur en eau du produit

$\left(\frac{-dX}{dt} \right)$: vitesse du séchage

II.8. CONCLUSION

Dans ce chapitre présent nous avons procédé à la modélisation de la serre en établissant des bilans énergétiques pour différentes parties (plancher, surface vitrée, paroi nord et l'air intérieur) Cette étude va nous permettre de dimensionner la serre correctement et de réaliser un prototype fiable et rentable qui va nous donner un séchage meilleur

CHAPITRE III

DIMENSIONNEMENT ET

REALISATION DE LA SERRE DE

SECHAGE

III. Dimensionnement de la Serre de Séchage

III.1. Introduction

L'utilisation des systèmes solaires est soumise à certaines contraintes. La plus importante d'entre elles est le respect de l'équilibre entre l'énergie produite et l'énergie consommée. C'est pour cela que pour établir un dimensionnement optimum d'une installation solaire qui serait performant, on doit commencer par l'estimation des besoins. D'autres facteurs climatologiques et radiométriques liés au lieu d'installation, tel que la température, le rayonnement solaire, le vent l'hygrométrie de l'air jouent un rôle important et doivent être pris en considération lors du dimensionnement.

III.2. Etapes de dimensionnement de la serre [7]

Pour dimensionner la serre séchoir, les cinq étapes données ci-dessus doivent être réalisées.

III.2.1. Quantité du produit frais à sécher :

La serre séchage objet de la présente étude est destinée au séchage des déchets alimentaires. La première donnée importante est l'estimation de la quantité du produit à sécher pour éviter toute sorte de surdimensionnement. La quantité du produit frais à sécher a été fixée à 3 kg par jour, [7].

III.2.2 Débit d'air nécessaire pour le prélèvement d'eau du produit à sécher [7]

Le débit d'eau nécessaire pour le prélèvement de la quantité d'eau à retirer du produit est estimé à partir de la formule suivante :

$$Q_{se} = \frac{(m_i - m_f)M_i}{t_s} \quad \text{III.1}$$

Avec M_i la quantité de produit frais à sécher pendant le jour en kg, m_i et m_f les teneurs en eau respectives, initiale et finale du produit séché en% et t_s le temps réel de séchage en heures.

III.2.3 Calcul du débit d'air à l'entrée de la serre

Pour déterminer le débit d'air chaud entré à la serre séchoir, il est nécessaire de déterminer la quantité d'eau que l'on doit retirer du produit.

La masse d'eau M_e à extraire correspond à ce qu'il faut retirer du produit pour le faire passer d'une teneur en eau initiale donnée (de 85 pour cent pour déchet alimentaire), à une teneur en eau finale donnée (5 pour cent pour déchet alimentaire séché) assurant ainsi la conservation du produit [7]. Elle s'écrit

$$M_e = Q_{se} t_s \quad \text{III.2}$$

Le séchoir doit permettre l'élimination de l'eau du produit et l'évacuation de l'eau sous forme de vapeur par le débit d'air chaud. L'eau est ainsi éliminée à une vitesse d'évacuation moyenne. Le débit d'air chaud doit donc permettre d'assurer cette évacuation à la vitesse V . Soit D_a le débit d'air chaud dans le séchoir [24] :

$$D_a = \frac{1000M_e}{(t_s \rho_{air} (X_m - X_a))} \eta_s \quad \text{III.3}$$

Où :

ρ_a : Masse volumique de l'air sec = 1.136 kg/ m

X_a : teneur en eau de l'air à entrée de séchoir en g d'eau/ kg d'air sec

X_m : teneur en eau de l'air à sortie de séchoir en g d'eau/ kg d'air sec

η_s : rendement du séchage

La teneur en eau de l'air entrant et sortant X_a est donné par le diagramme enthalpique de l'air humide et X_m est déterminée à partir du pouvoir évaporatoire de l'air de séchage. Ce pouvoir évaporatoire est déterminé grâce au tableau III.1, liant le pouvoir évaporatoire e_a à l'humidité et à la température de l'air ambiant.

La teneur en eau de l'air à la sortie du séchoir X_m est déterminée à partir de l'équation suivante:

$$\rho_a (X_m - X_a) = (\rho_a e_a) / 2 \quad \text{III.4}$$

Tableau III.1 Pouvoir évaporatoire de l'air E_a , en fonction de sa température et de son humidité

Humidité relative en %	Température de l'air en °C							
	20	30	40	50	60	70	80	90
10	4,5	7,0	9,0	10,5	12,5	14,5	16,0	19,0
20	4,0	5,5	8,0	9,0	10,5	11,5	12,0	16,0
40	3,5	4,5	5,0	5,5	8,0	8,5		
60	2,5	3,0	3,0	3,5	5,0			
80	1,0	1,5	2,0	2,0	2,5			

III.2.4. Dimension de l'ouverture d'entrée d'air

Le débit d'air circulant pour le séchage du produit s'écrit :

$$D_a = VS_o = V * L * l \quad \text{III.5}$$

Avec : V la vitesse de l'air en m/s, L la largeur du séchoir en m et l la hauteur de l'ouverture d'entrée de l'air, m.

En figure III.1 est donné l'organigramme des étapes de dimensionnement d'une serre séchoir.

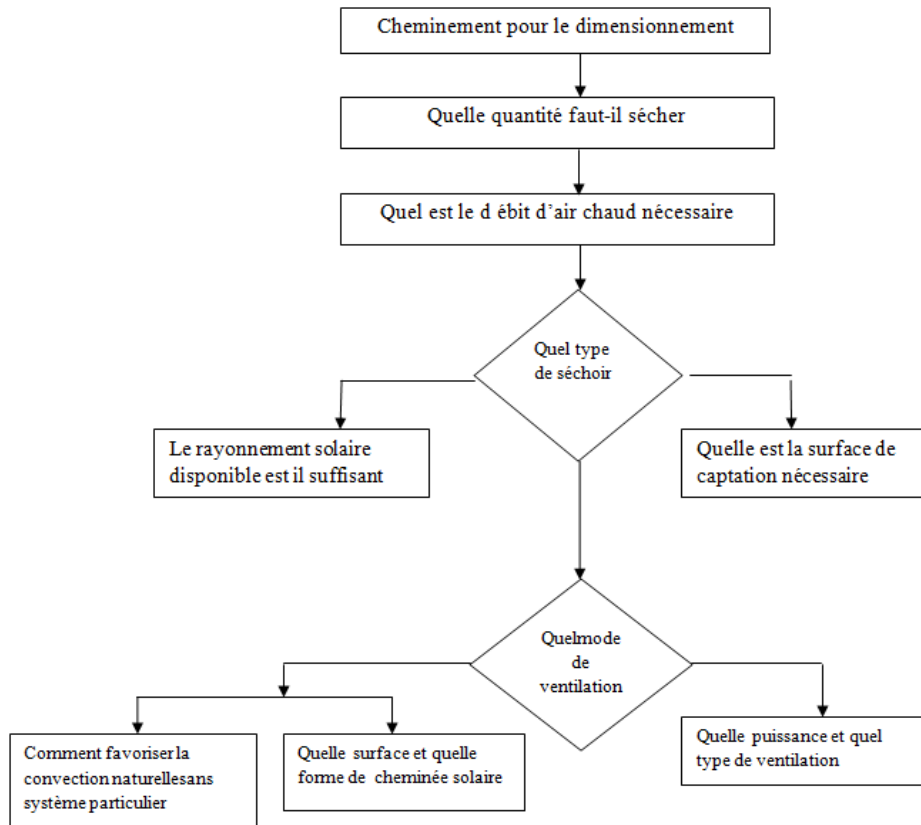


Figure III.1 : Etapes de dimensionnement d'un séchoir

III.2.5. Dimension de la serre séchoir objet de l'étude [7]

Les données entrées au problème sont

Quantité de produit frais à sécher $M_i = 3$ kg

Teneur en eau initiale du produit frais, $m_i = 85\%$

Teneur en eau finale du produit séché, $m_f = 5\%$

Temps idéal du séchage estimé à, $t_s = 24$ heures

Température ambiante, $T_a = 35$ °C

Humidité relative ; $H_r = 40\%$

η_s : Rendement de séchage du déchet alimentaire estimé à 25%.

ρ_{air} : Masse volumique de l'air sec = 1.136kg/ m

Les différents calculs ont donné :

Le débit d'air nécessaire pour le prélèvement d'eau du produit à sécher, s'écrit :

$$Q_{se} = \frac{(m_i - m_f)M_i}{t_s} = \frac{(0.85 - 0.05)}{24} = 0.1 \text{ L d'eau par heure}$$

La masse d'eau à extraire :

$$M_e = Q_{se} t_s = 0.1 * 24 = 2.4 \text{ kg d'eau}$$

Pour $T_a=35^\circ\text{C}$ et $H_r=40\%$, le diagramme de l'air humide $X_a=14$ g d'eau / kg d'air sec et le tableau III.1 un pouvoir évaporatoire égale à $e_a = 4.75$, d'où :

$$X_m = (e_a / 2) + X_a = (4.75 / 2) + 14 = 16.375 \text{ g d'eau / kg d'air sec}$$

Finalement, le débit d'air nécessaire et égale à :

$$D_a = \frac{1000M_e}{(t_s \rho_{air} (X_m - X_a)) \eta_s} = \frac{1000 * 2.4}{3600 * (24 * 1.136(16.365 - 4))} 0.25 = 0.0411 \text{ m}^3/\text{s}$$

Dimension de l'ouverture

Pour une longueur $L = 1,080\text{m}$ et une vitesse $V=0.5$ m/s, on obtient :

$V = 0.5\text{m/s}$ vitesse estimée

$$D_a = VS_o = V * L * l = \frac{D_a}{V * L} = \frac{0.0411}{0.5 * 1.080} = 0.076 \text{ m}$$

l : la hauteur de l'ouverture $l = 0.076\text{m}$

Donc la surface de l'ouverture

$$S_v = L * l = 0.076 * 1.080 = 0.082 \text{ m}^2 \text{ qui représente } 25\% \text{ de l'ouverture maximale.}$$

III.3 Choix du Type de séchoir

Au vu du climat algérien ainsi que des heures de l'intensité de l'éclairement solaire de l'Algérie, nous avons écarté les séchages indirects qui ne présentent pas un réel avantage dans le cas d'un petit atelier de séchage de déchets. Ce choix a été guidé aussi par l'objectif de mettre au point un système performant peu couteux. C'est pour cela que nous avons opté pour une serre séchoir solaire direct.

Le choix du type de séchoir dépend du débit de circulation de l'air. En effet, pour un séchage imposant un débit supérieur à $20 \text{ m}^3/\text{h}$, le séchage ne peut pas être effectué de manière naturelle. Il faut alors envisager le rajout des éléments périphériques comme un ventilateur ou des ouvertures. Pour un débit compris entre 20 et $60 \text{ m}^3/\text{h}$, l'utilisation d'une cheminée solaire semble nécessaire. Dans notre cas les débits d'air sont supérieur à $60 \text{ m}^3/\text{h}$, d'où l'utilisation d'ouverture d'entrée et sortie de l'air. Donc le mouvement de convection de l'air sera assuré par deux ouvertures.

III.4. Réalisation de la serre

III.4.1 Présentation du séchoir

Le dispositif réalisé est un séchoir solaire type serre conçu à l'UDES avec une forme géométrique triangulaire. Elle est composée de quatre faces, sud, nord, Est et Ouest. La face sud est vitrée et comporte l'ouverture pour le passage de l'air, et la seconde inclinée à la latitude du lieu à savoir 36° . Les parois Est et Ouest sont isolées thermiquement par des feuilles de polystyrène et de bois et ce pour résister aux taux d'humidité dégagés par le déchet et faire face aux effets de vieillissement. La face intérieure est couverte d'une plaque en aluminium peinte en couleur noir.

A l'intérieur du dispositif sont disposées trois claies (plateaux) dont le but est de servir de plateaux au produit tout en permettant le passage de l'air. Elles sont réalisées avec 4 barres métalliques soudées entre elles qui forment un rectangle de superficie de 0.54 m^2 (600mmx900mm). Le fond de ce rectangle est constitué d'un grillage de fer soudé aux barres latérales, sur lequel les produits à sécher sont étalés. La vue d'ensemble de la serre est présentée sur la figure III.2.

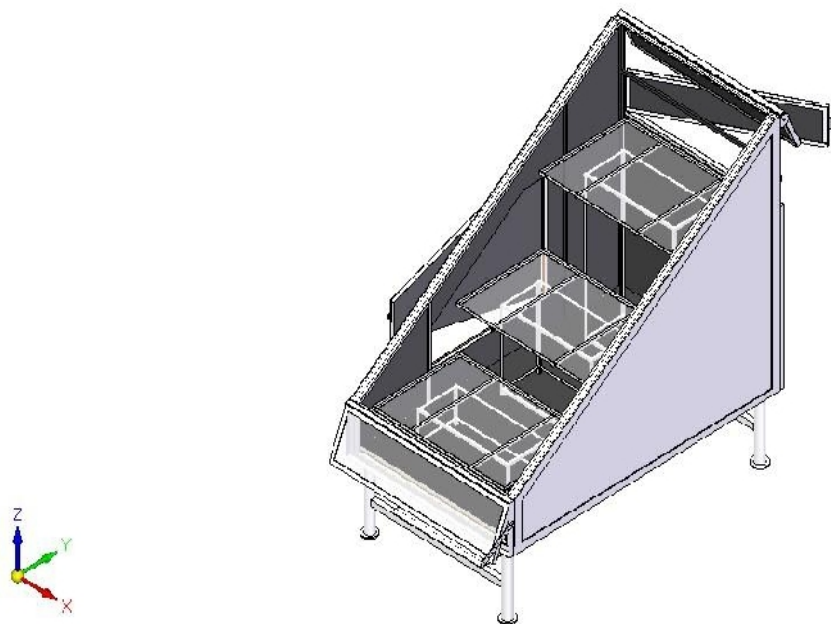


Figure III.2 : vue d'ensemble de la serre séchoir réalisée.

Les matériaux utilisés pour sa réalisation sont :

- le squelette de la serre est en tube en tôle carré noir soudée de 25x25

- Le carénage extérieur a été réalisé avec une tôle laqué d'épaisseur 8
- Le carénage intérieur fait avec une tôle d'aluminium d'épaisseur de 8/10
- La structure porteuse des plateaux est en cornières de 20x25mm
- La structure sur laquelle est déposé la serre, est construite par deux types de cornières de 50x50x5 et de 30x30x3 et une tôle galvanisée qui porte les balances de pesage

III.4.2. Les Critères Respectés Pour La Construction

Lors de la construction de cette serre, les paramètres pris en considération sont entre autres l'orientation qui permettra une transmission optimale de l'éclairage solaire et la bonne isolation des parois latérales et de la paroi nord pour limiter les pertes thermiques vers l'extérieur. C'est pour cela, qu'une couche de mousse de polystyrène de 25 mm et une feuille en bois de 8 mm ont été appliquées comme isolant. La figure III.3. Ci-dessous présente la disposition des couches d'une paroi y compris l'isolant lors de la construction



Figure III.3 présentation des couches d'une paroi latérale en vue de profil

Par ailleurs, l'intérieur du séchoir est recouvert d'un film d'aluminium peint en noir afin de permettre l'augmentation de l'absorption.

Enfin, pour que l'opération de séchage soit performante et efficace, un effet de serre est réalisé grâce au verre ordinaire d'épaisseur 4mm qui est monté sur les deux inclinaisons de la face sud.

La ventilation est un paramètre essentiel au séchage sous serre. En effet l'objectif principal de ce système étant d'évaporer l'eau contenu dans le produit, donc il faut favoriser les échanges convectifs entre le produit et l'air à l'intérieur de la serre car plus l'air est sec, plus il pourra se charger d'eau dégagé par le produit à sécher.

Le choix des matériaux est fonction de plusieurs critères comme corrosion, transmission lumineuse et isolation

III.4.3 Dimensions de la Serre

Les dimensions de la serre séchoir réalisé sont données au tableau III.2.

Tableau III.2. Dimension de la serre

Caractéristiques	Valeur	Dimension
Longueur max	2150	mm
Largeur	1140	mm
Hauteur	1150	mm
La longueur de la vitre inclinée	2046	mm
La largeur de la vitre inclinée	995	mm
La longueur de la vitre verticale	101	mm
La largeur de la vitre verticale	225	mm
La longueur de l'ouverture	1080	mm
La largeur de l'ouverture	260	mm
La hauteur de l'ouverture	82	mm

$$D_a = VS_o = V * L * l = \frac{D_a}{V * L} = \frac{0.0411}{0.5 * 1} = 0.082 \text{ m}$$

III.4.4. Etapes de réalisation de la serre à l'atelier

Cette partie consiste à citer les étapes de la conception de la serre et les matériaux utilisés, cette dernière s'est étalée sur une durée d'un mois et demi et ses étapes portent sur le :

- Traçage des planches du bois
- Traçage de la tôle laquée et galvanisée
- Traçage de la mousse de polystyrène

Ainsi que le :

- Découpage du bois
- Découpage de la mousse de polystyrène
- Découpage des Tôles laqué
- Découpage des Claies -Découpage des supports de claies
- Découpage des Cornières pour Tôles laqué et pour le support

Et enfin le :

- Montage de la proie externe qu'est une tôle laqué
- Montage et collage de la mousse de polystyrène
- Montage de la paroi en bois
- Montage de la paroi interne en tôle galvanisée.

Les matériaux utilisés et leurs caractéristiques sont donnés au tableau III.3.

Tableau III.3. Matériaux utilisés

Eléments	Epaisseur (mm)	Chaleur spécifique (J/kg.k)	Densité (Kg/m ³)	Conductivité thermique (W/m.C°) λ
Vitrage	4	0.84	2700	0,78
polystyrène	25	1670	16	0.042
Feuilles en bois	8	2720	430	-
Tôle d'aluminium peinte en noir	8/10	896	2740	205
Tôle laqué	8/10	-	-	-
Tôle galvanisé	2mm	-	-	-
Air intérieur	-	1	1	0.024
Rivets	$\Phi=4\text{mm}$, l=35mm $\Phi=3\text{mm}$, l=12mm	-	-	-
Cornières d'aluminium Trois types	20x25mm 50x50x5 30x30x3	-	-	-

III.5. CONCLUSION

L'objectif de ce chapitre est de décrire les étapes suivies lors de la construction du dispositif pour la rendre facile et accessible aux utilisateurs et agriculteurs. Il est clair que ce dispositif pourra contribuer à la résolution des problèmes d'accumulation des déchets agroalimentaire et leurs transformations en produit alimentaire pour le bétail ou le volaille.

CHAPITRE IV
TESTS, RESULTATS ET
INTERPRETATIONS

IV.1. INTRODUCTION

L'objectif du présent chapitre est la présentation des tests d'expérimentation de la serre séchoir. Il est divisé en deux parties, la première porte sur les conditions et le déroulement des tests expérimentaux alors que la deuxième partie concerne les résultats obtenus et leurs interprétations.

IV.2. CONDITIONS EXPERIMENTALES

IV.2.1. Lieu de déroulement des tests

Les tests se sont été déroulés au sein de l'Unité de Développement des Equipements Solaires de Bou-Ismaïl dans la wilaya de Tipaza. Ce site se caractérise par un climat méditerranéen et dont les coordonnées géographiques sont :

Latitude=36,75° N

Longitude = 3°E

Altitude de lieu =5 m au-dessus du niveau de la mer.

IV.2.2. Période des tests

Les différents tests se sont effectués pendant les journées suivantes :

- du 18 au 21 aout 2013.
- le 26 et 28/aout 2013
- et 02/04 septembre 2013.

Les conditions climatiques et radiométriques diffèrent d'une journée à une autre et les tests effectués ont permis de déterminer l'influence de certains paramètres dans la serre séchoir.

Avant de procéder au séchage d'un produit dans une serre nouvellement conçue, il est impératif de procéder aux tests à vide pour s'assurer de son bon fonctionnement. C'est le cas pour la première partie de test.

Les tests effectués consistaient à la mesure des températures d'entrée et sortie de l'air d'une serre vide en fonction de l'angle d'ouverture des portes (0 : portes fermées, 25%, 35%, 100% : portes ouvertes).

La journée du 18/08/2013 était une journée ensoleillée avec un court passage nuageux ou les portes étaient complètement fermées.

La journée du **19/08/2013** était ensoleillée (ciel clair). Les deux portes étaient complètement ouvertes avec une surface d'entrée de 0.328 m²

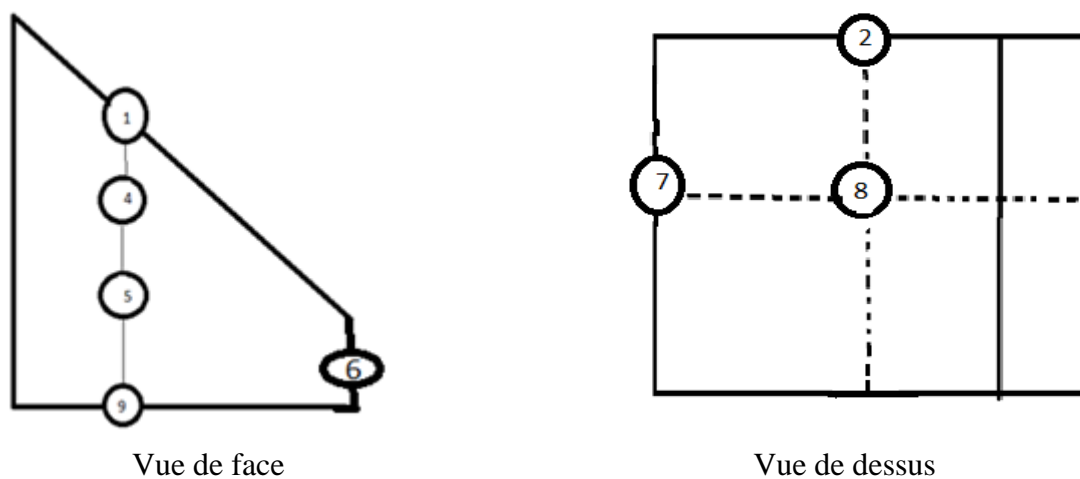
Le 20 et le 22/08/2013, les portes ont été ouvertes respectivement à 35 % et 25%.

Le test effectué durant la journée du 26 aout 2013, porte sur le suivi de l'évolution de la distribution de la température dans de la serre suivant la longueur et la hauteur. Pour cela des thermocouples ont été placés sur toute la longueur avec un pas de 30 cm. La disposition des thermocouples sont donnés en figure IV.1.

Les premiers essais sur le séchage d'un produit se sont effectués durant la journée du 28/08/2013 et du 02/09/2013. Il s'agit de déchets de poivron rouge qui ont été récupéré auprès de l'industriel SIM.

Un kg de produit a été étalé d'une manière uniforme sur chaque claie. Des thermocouples et des balances de pesage ont permis le suivi respectif de la température et le poids du produit.

Enfin le 04/09/2013, un second déchet à savoir la peau de pomme ont été testée. Ceci afin d'étudier le temps de séchage en fonction du type de produit à sécher.



- 1. Vitrage
- 2. paroi Est
- 4. Plateau 3 (du haut)
- 5 .plateau 1 (du bas)

- 6. entrée de la serre
- 7. sortie de la serre
- 8 .plateau 2(celui du milieu)
- 9. plancher ou sol de la serre

D'autres thermocouples ont été disposés, à savoir :

- sur la vitre inclinée,
- à l'intérieur de la serre, à savoir 05 thermocouples placés dans différentes zones
- au milieu de la paroi Est
- au niveau de chaque plateau
- sur le plancher (sol)
- Et l'entrée et la sortie de l'air par les portes

La figure IV.2 indique l'emplacement des thermocouples.



Figure IV.2 Photo de la serre après l'emplacement des thermocouples

En figure IV.3. et IV.4. sont représenté la serre avec l'exposition d'une quantité d'un kg de produit à sécher, soit un total de 3 kg.



Figure IV.3 la disposition du produit à l'intérieur de la serre



Figure IV.4 la position des balances lors des tests

IV.3. APPAREILS DE MESURES

Comme mentionné dans le chapitre précédent ; pour avoir un meilleur séchage on doit maîtriser les paramètres suivants ; température ; l'humidité et vitesse de l'air. Pour suivre leurs évolutions les appareils suivants ont été utilisés.

IV.3.1. Mesure de température

Les températures dans la serre ont été révélées au moyen de thermocouples du type K reliés à une acquisition de données à 20 voix et connecté à son tour à un ordinateur pour la lecture de la mesure, (voir figure IV.5).

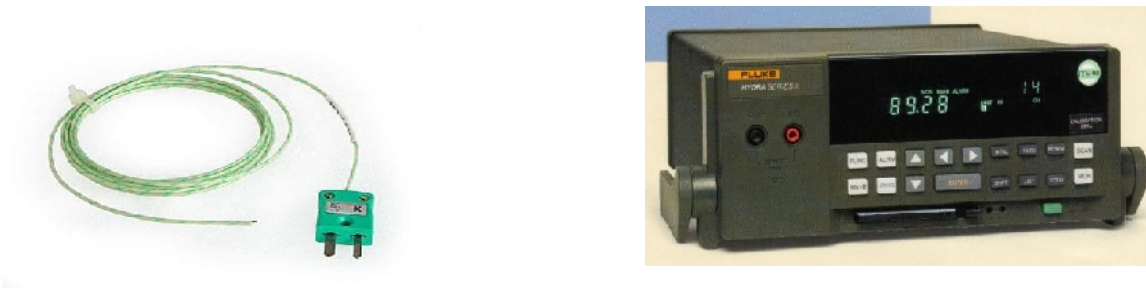


Figure IV.5. Thermocouples type K et acquisition de données type FLUKE

IV.3.2. Mesure de l'humidité

L'humidité relative de l'air à l'intérieur de la serre est mesuré par un thermo-hygromètre de marque TESTO. Cet appareil est placé au point désiré. Il est muni d'une carte mémoire qui enregistre les mesures qui sont récupérés après son branchement à un ordinateur, (voir figure IV.6).



Figure IV.6 L'hygromètre

IV.3.3. Mesure de Rayonnement solaire

Le rayonnement solaire a été mesuré à l'aide d'un pyranomètre placé au niveau de la station météorologique de l'UDES.



Figure IV.7 Le pyromètre utilisé type KIPP ZONEN

IV.3.4. Mesure de La vitesse de l'air

La vitesse de l'air a été mesurée au moyen d'un anémomètre de marque CHAUVIN ARNOUX. Il est fixé au point de mesure et affiche la valeur de la vitesse de l'air après stabilisation, (voir figure IV.8).



Figure IV.8 le thermo-anémomètre utilisé

IV.3.5. Mesure du poids du produit

Vu qu'on a trois claies pour le produit à sécher, trois balances permettant le suivi de l'évolution du poids en fonction du temps ont été utilisées. Les balances sont électroniques de marque RADWAG type WPT/F 15 C. Elle possède un afficheur relié à la balance par un câble. Le choix de ce type de balance est guidé par le fait qu'elles fonctionnent avec des batteries rechargeables d'une autonomie égale de 48h. Elles peuvent aussi supporter une température qui peut atteindre les 50°C, (voir figure IV.9).



Figure IV.9 Type de balance utilisé

IV .4 RESULTATS ET INTERPRETATION

IV.4.1. Influence des degrés d’ouvertures des portes sur la température d’entrée et de sortie de l’air.

En figures IV.10, IV.11, IV.12 et IV.13 sont données les évolutions de l’éclairement solaire et des températures entrée et sortie de l’air en fonction du degré d’ouverture des portes de la serre à vide

18/08/2013 : Portes fermées à 100%

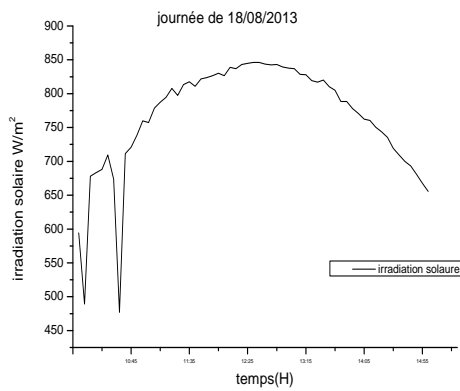


Figure. IV.10 Evolution de l’éclairement en fonction de temps

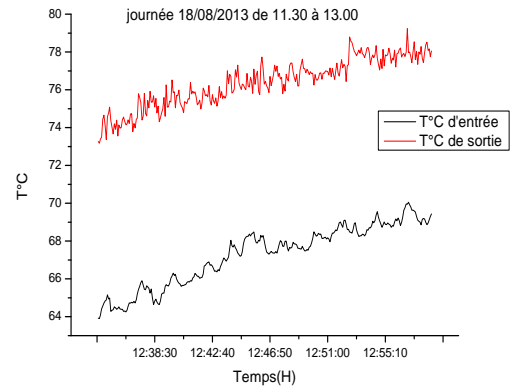


figure 11 Evolution de la température d’entrée et sortie en fonction du temps

19/08/2013 : Portes ouvertes à 100%

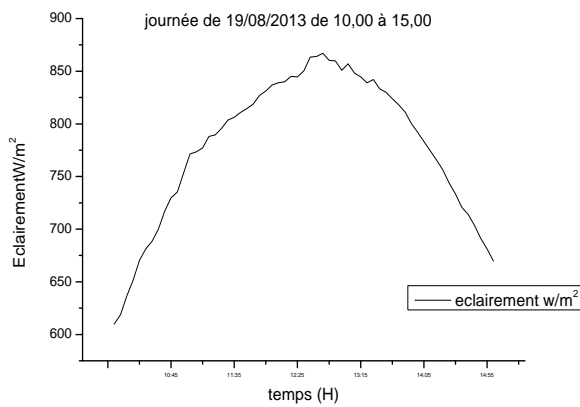


Figure IV.12 Evolution de l’éclairement en fonction de temps

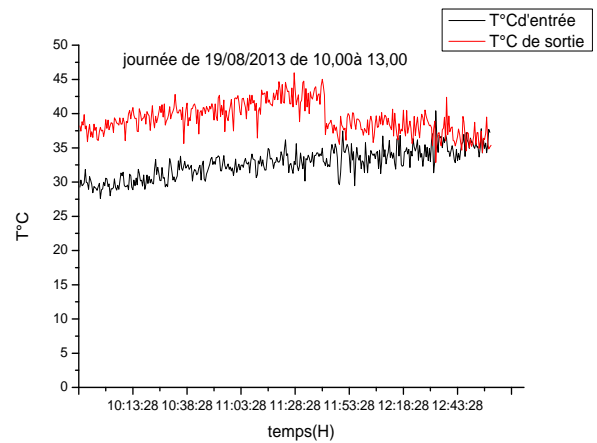


Figure IV. 13 Evolution de la température d’entrée et de sortie en fonction du temps

20/08/2013 : les deux ouvertures sont à 35%

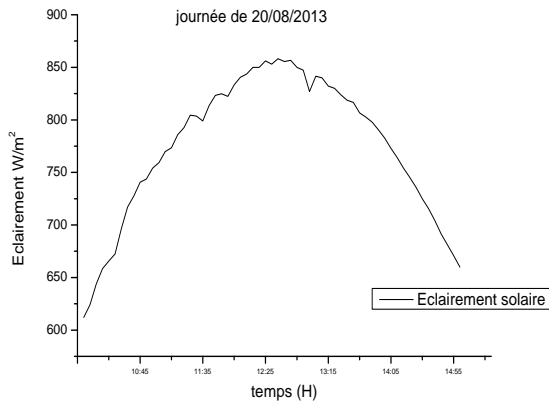


Figure IV.14 Evolution de l'éclairement en fonction de temps

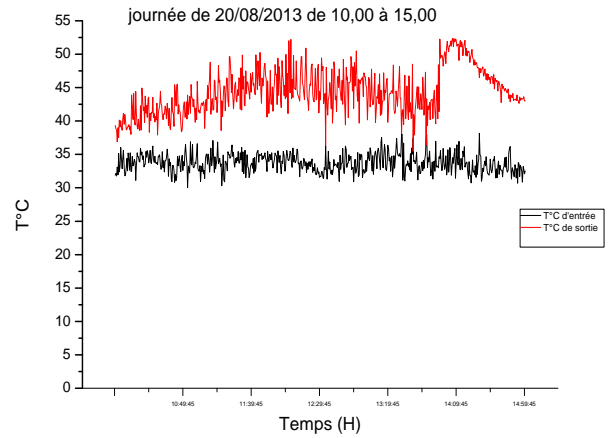


Figure IV. 15 Evolution de la température d'entrée et de sortie en fonction du temps

21/08/2013 : les deux ouvertures sont à 25%

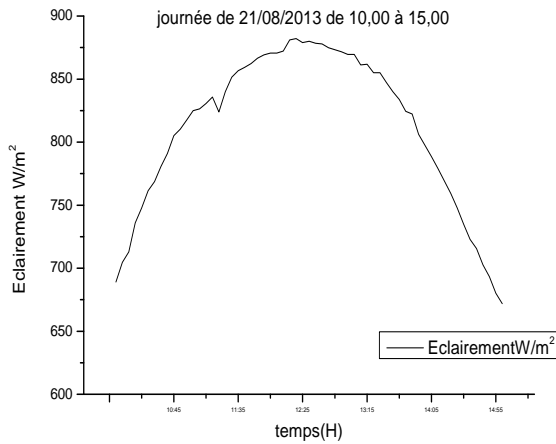


Figure IV.16 Evolution de l'éclairement en fonction de temps

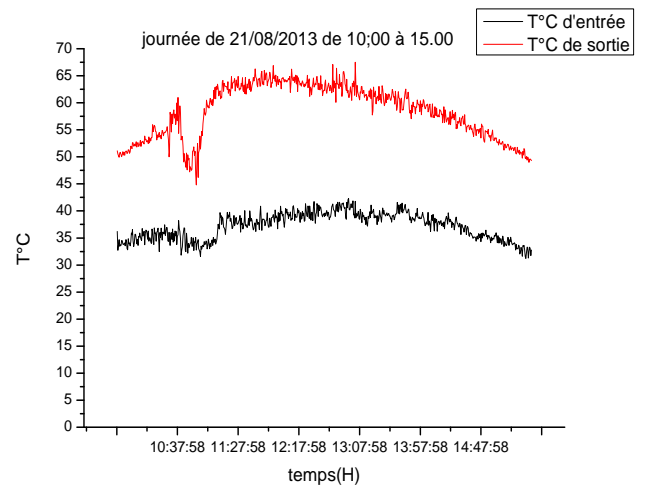


Figure IV. 17 Evolution de la température d'entrée et de sortie en fonction du temps

En effet, les degrés d'ouverture des portes ont été variés simultanément et ce en gardant les autres paramètres constants. On observe qu'avec l'augmentation de l'ouverture des deux portes, la température d'entrée et sortie de la serre diminuent. Ce qui explique par l'introduction d'une masse d'air de plus en plus grande ce qui entraîne l'augmentation du temps de séchage. Lorsque les portes sont complètement fermées, la température croît jusqu'à une température qui peut entraîner la détérioration du produit parce que la température est arrivée jusqu'à 80°C. Pour une ouverture égale à 35%, on a constaté que la température à l'intérieur de la serre, atteint des valeurs acceptables, pouvant être utilisées pour des opérations ; seulement elle reste toujours insuffisante, alors que pour 25%, les températures atteintes sont au voisinage de 65°C des valeurs adéquates au séchage solaire de bonne qualité.

Les chutes de températures d'entrée et sortie enregistrées sur la figure IV.13 sont dues à un arrêt momentané de l'acquisition pour débrancher un thermocouple et le remplacer par un autre qui fonctionne correctement.

IV.4.2 Distribution des températures sur la longueur et la hauteur de la serre

Une fois l'ouverture de 25% adoptée, nous avons procédé lors de la journée du 26/08/2013 au tracé de la distribution de la température sur la longueur et la hauteur de la serre.

En figure IV.18, IV.19 et IV.20 sont représentés respectivement l'évolution de l'éclairement solaire et la distribution de la température sur la hauteur et la longueur

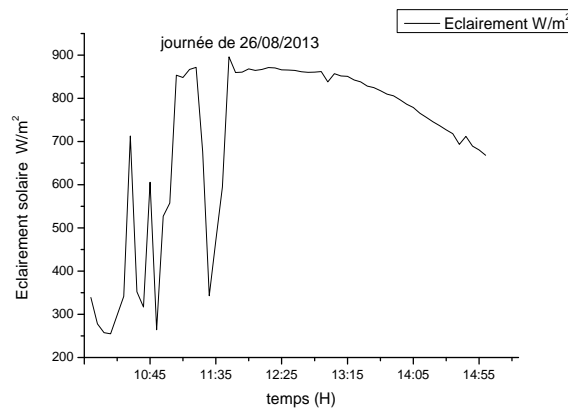


Figure IV.18. Variation de l'éclairement en fonction du temps

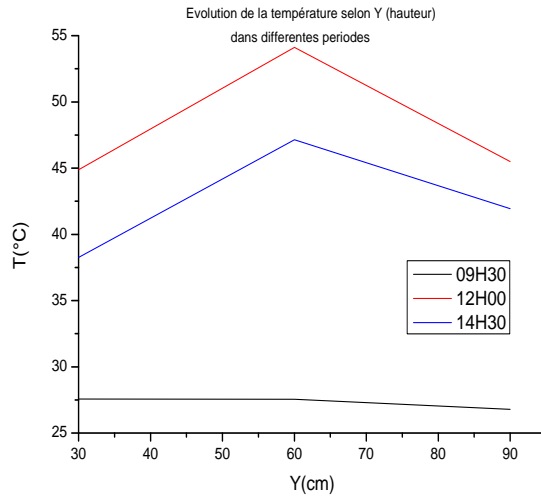


Figure IV.19. Distribution de la température sur la hauteur en fonction de la distance

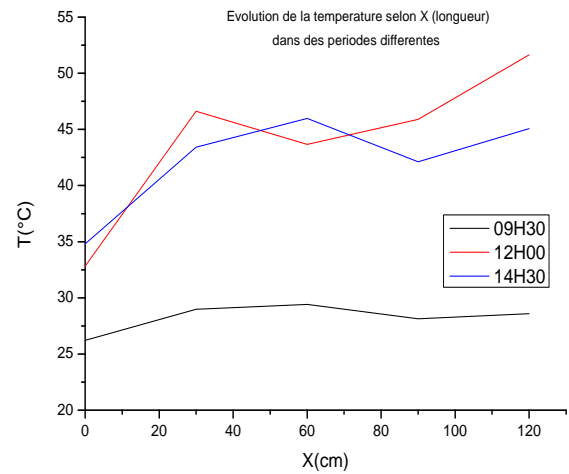
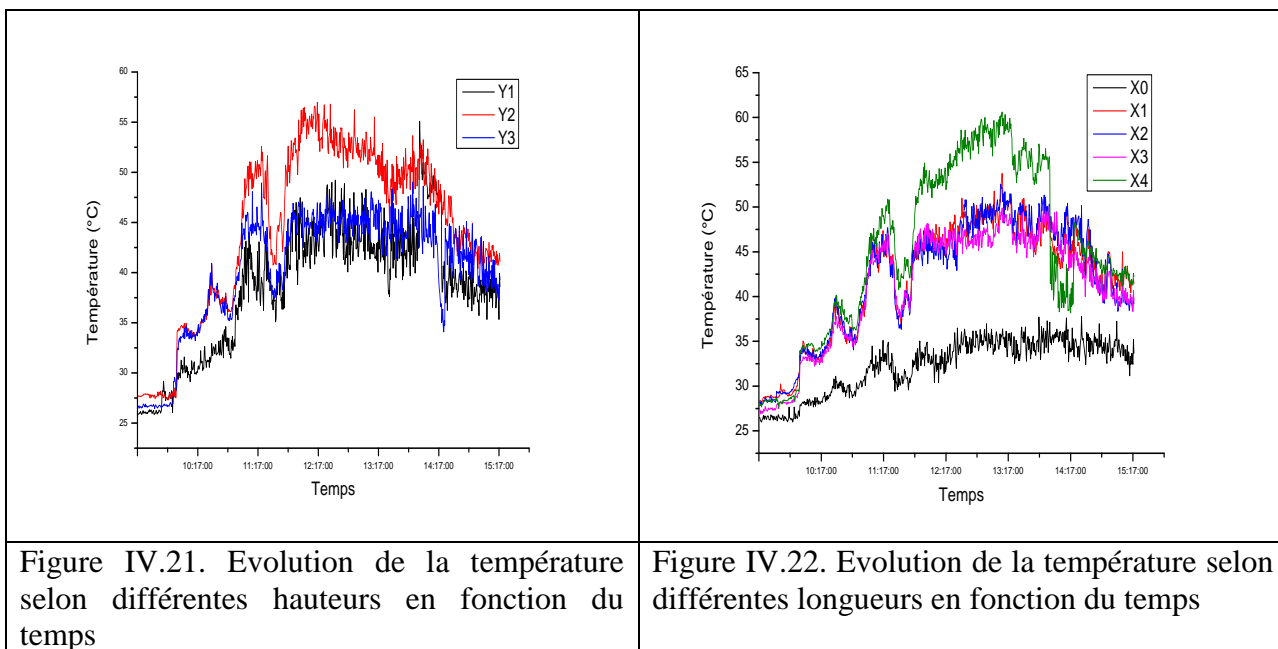


Figure IV.20. Distribution de la température sur longueur en fonction de la distance

On observe sur les figures précédentes que les températures augmentent avec l'augmentation de la longueur. Une chute de la température est dû essentiellement à la baisse de l'apport de l'éclairement solaire du au passage nuageux. Ceci se voit bien sur la figure (IV.18) à 12h00 et est confirmé par la courbe de l'éclairement donné en figure (IV.11)

Pour la figure (IV.19) qui présente l'influence de la hauteur, nous remarquons que lorsque la hauteur est petite les températures sont faibles ce qui implique un temps de séchage long, et lorsque la hauteur augmente, les températures augmentent donc cette dernière est proportionnelle avec la hauteur. Nous pouvons expliquer ça le fait que l'air chaud est moins dense que l'air froid donc il a tendance à circuler de bas vers le haut mais a une certaine hauteur la température s'arrête d'augmenter

En figure IV.21 et IV.22 sont représentés respectivement la température de différentes hauteurs et longueurs en fonction du temps



Les figures (IV.21) et (IV.22) montrent l'évolution de la température mesurées à des intervalles égaux le long de la hauteur et la longueur. On remarque que les courbes varient conformément à l'éclairement solaire avec des variations dues au passage nuageux.

IV.4.3 Séchage des déchets de poivron rouge

Le 28/08/2013, il a été procédé à l'étalage des déchets de poivron rouge sur les claies pour le séchage.

La journée été caractérisée par un ciel clair avec des passages de nuages de courte durée comme le montre la figure (IV.19), la température ambiante moyenne était de l'ordre de 25.9°C et la vitesse de vents était au environ de 2.5m/s

Les figures IV.20, IV.21 sont données les variations des températures entrée et sortie et la variation du poids du produit lors du séchage.

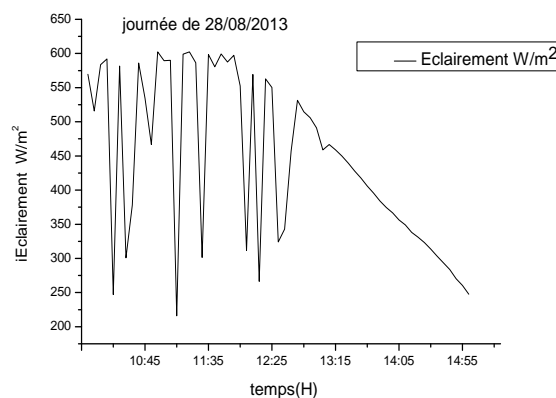


Figure IV.23. Variation de l'éclairement en fonction du temps

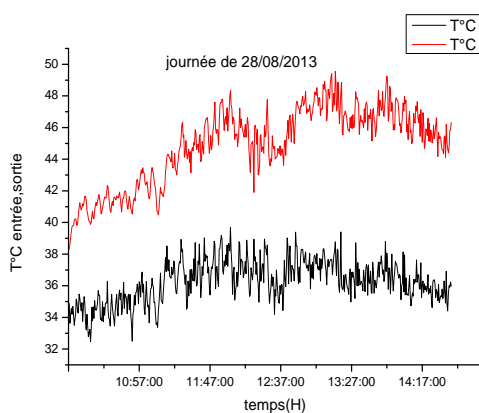


Figure IV.24. Evolution de la température entrée et sortie en fonction du temps

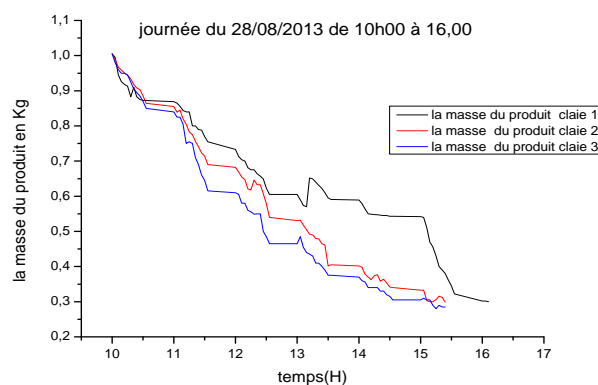


Figure IV.25. Variation du poids du produit au niveau des trois claies en fonction du temps

On constate sur les figures précédentes que les températures à l'intérieure de la serre atteignent le maximum lorsque l'éclairement solaire enregistre un pic (généralement à midi solaire) ce qui indique qu'il existe une relation proportionnelle entre l'éclairement solaire et l'augmentation de température dans la serre.

Par ailleurs, on constate sur la figure IV.25 que la variation du poids du produit de séchage au niveau des trois claies est différent.

En figure IV.26, IV.27 et IV.28 sont représentées respectivement les températures en deux points de chaque claie 1^{er}, 2^{em} et troisièm

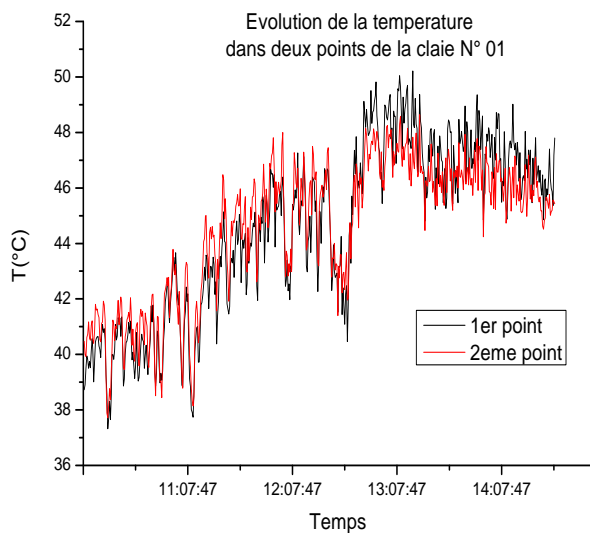


Figure IV.26. Evolution de la température dans deux points de claie 1

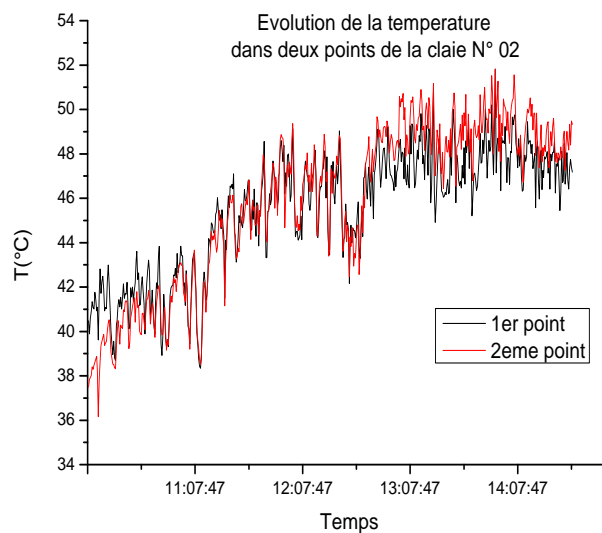


Figure IV.27. Evolution de la température dans deux points de claie 2

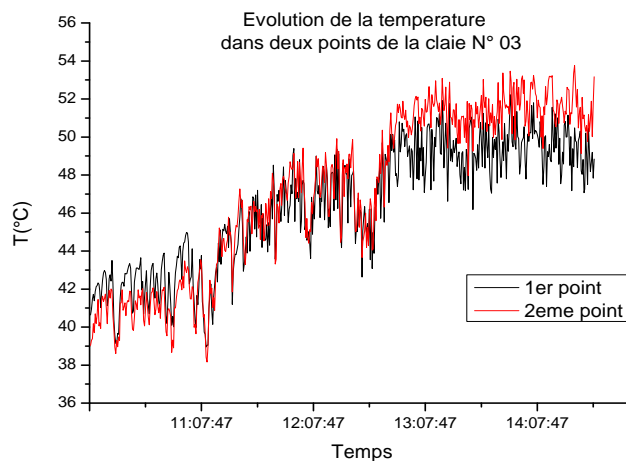


Figure IV.28. Evolution de la température dans deux points de claie 3

Tel que montré dans les figures précédentes, on voit bien que le produit posé sur la troisième claie sèche plus vite que les deux autres claies, ce qui est dû à la circulation de l'air chaud qui va du bas vers le haut

Le même test a été répété le 02/09/2013 ou le séchage de poivron rouge s'est effectué dans des conditions climatiques favorables, comme le montre bien le tracé de l'éclairement solaire en figure IV.29 et celui de la température ambiante en figure IV.30.

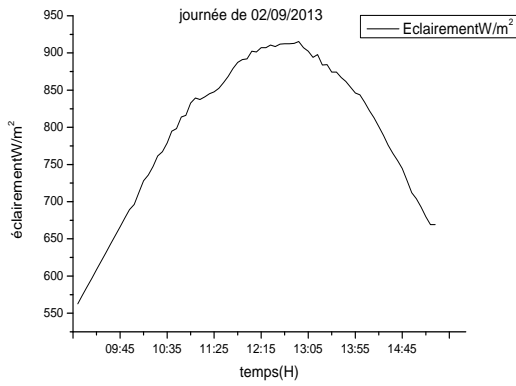


Figure IV.29. Evolution de l'éclairement Solaire en fonction du temps

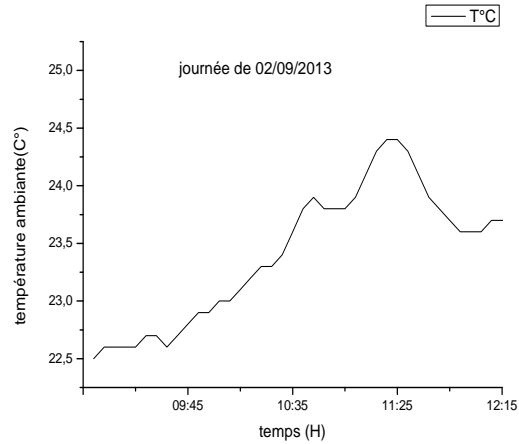


Figure IV.30. Variation de la température ambiante en fonction du temps

On remarque que pour cette journée l'éclairement solaire atteint un maximum de 900W/m² Autour du midi et la température approche les 25°C

Les figures IV.31 et IV.32 sont données les variations des températures entrée et sortie ainsi que celles mesurées au niveau des trois claies.

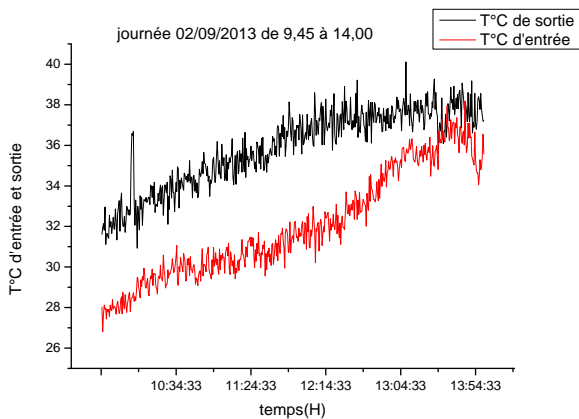


Figure IV.31. Evolution de la température D'entrée et sortie

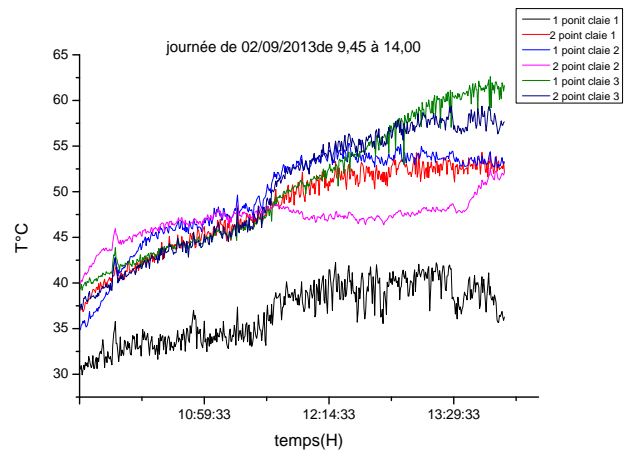


Figure IV.32. Evolution de la température en deux points de chaque claie

Les figures IV.33, IV.34 et IV.35 indiquent respectivement l'évolution de températures dans la 1^{er}, 2^{em} et la troisième claie

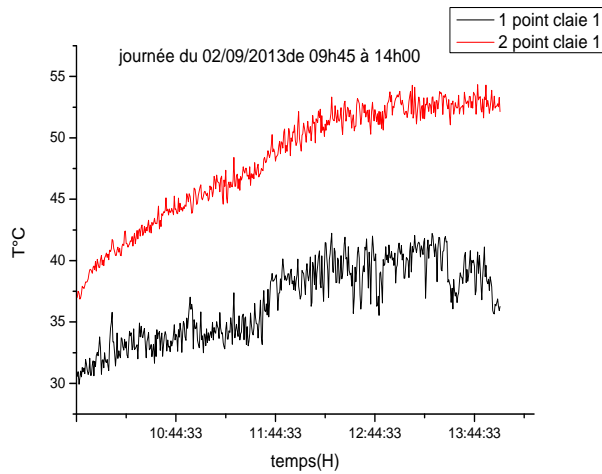


Figure IV.33. Evolution de la température en deux points de claie 1

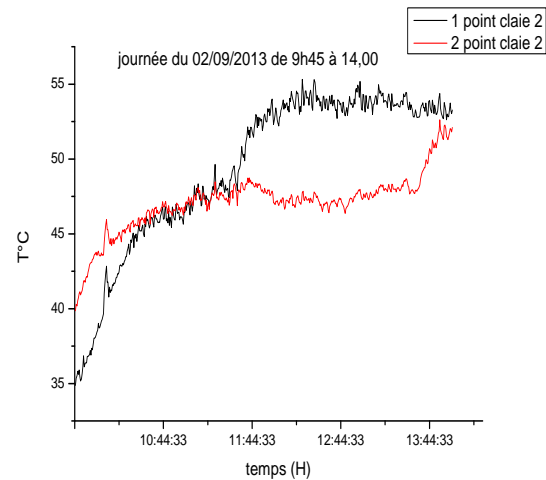


Figure IV.34. Evolution de la température dans deux points de claie 2

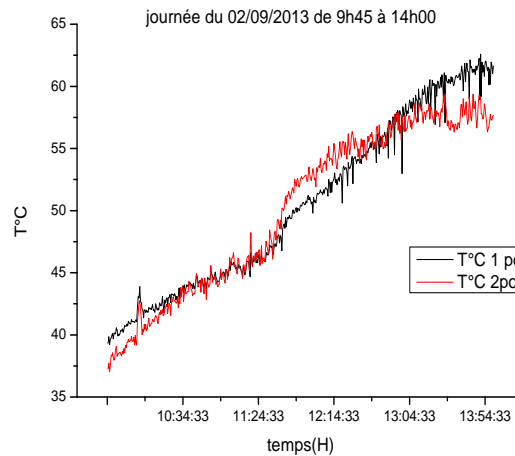


Figure IV.35. Evolution de la température 3 dans deux points de claie 3

En figures précédentes sont représentées respectivement les températures en deux points de chaque claie, on remarque que les température maximales enregistrées sont au niveau de la troisième claie et ca est du à la circulation d'air chaud du bat vers le haut ce qui engendre un temps de séchage du produit posé sur cette dernière réduit par rapport aux deux autres claies

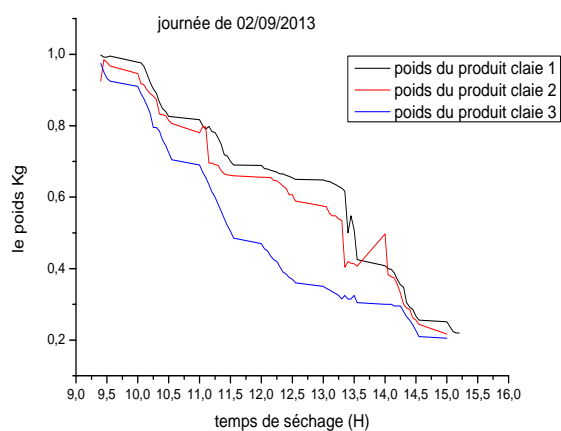


Figure IV.36, Variation du poids du produit de séchage.

En figure IV.36 On remarque que le temps de séchage est différent dans les trois claies.

Ainsi. Une chute rapide du poids était enregistré entre 10h30 et 13h00 et ca est dû au forte intensité de l'éclairage comme l'indique la figure IV.29, dans cet intervalle du temps ce dernier a marqué son max qui était au voisinage de 950W/m^2

Le produit a perdu du poids au bout de 4 heures jusqu'à sa stabilisation, l'indice de la fin de séchage

La dernière lecture de la valeur de poids nous montre que le produit a perdu environ 80% de son poids initial on prend l'exemple du poids de la 3^{ème} claie son poids initial était 1kg et son poids final 204.36g donc en termes de pourcentage c'est 80% et ce le but recherché

IV.4.4 Séchage des déchets de pomme

Durant la journée de 04/09/2013, nous avons procédé au séchage de déchets de pomme.

La journée était caractérisé par des passages nuageux et une température ambiante variable comme le montre les figure IV.33 et IV.34.

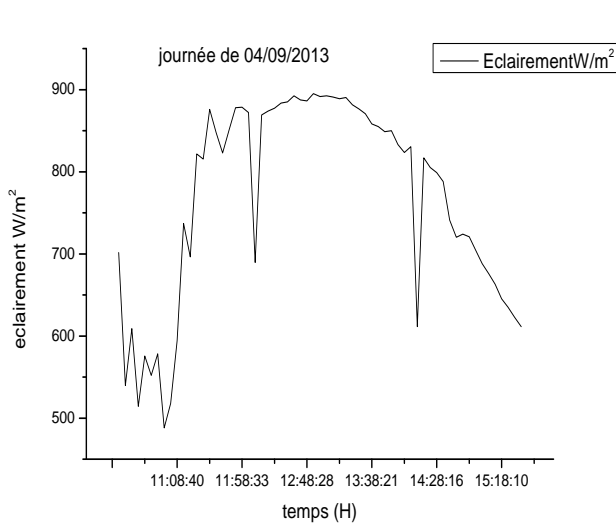


Figure IV.37. Evolution de l'éclairement solaire en fonction du temps

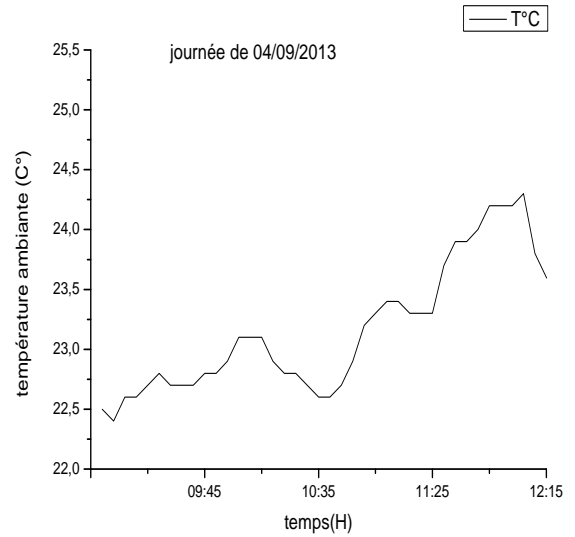


Figure IV.38. Variation de la température ambiante en fonction du temps

En figure IV.37 et IV.38 sont présentés respectivement l'évolution de l'éclairement et la température ambiante. On remarque que cette journée n'était pas stable comme le montre la figure IV.37 l'éclairement a subi plusieurs chute au cour de la journée tandis que la température ambiante a enregistré sa valeur maximale de 24 .5°C

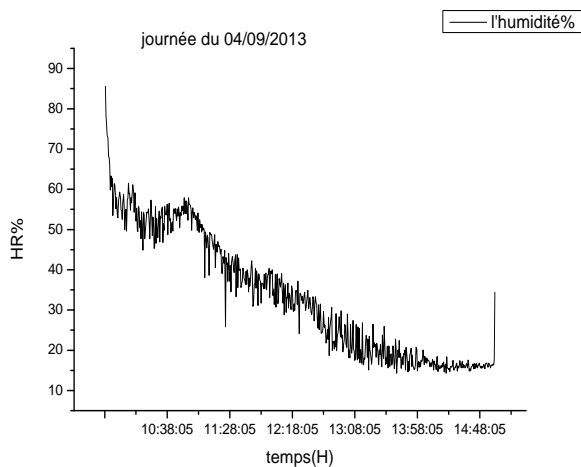


Figure IV.39. la variation de l'humidité Au niveau de la 1 er claie

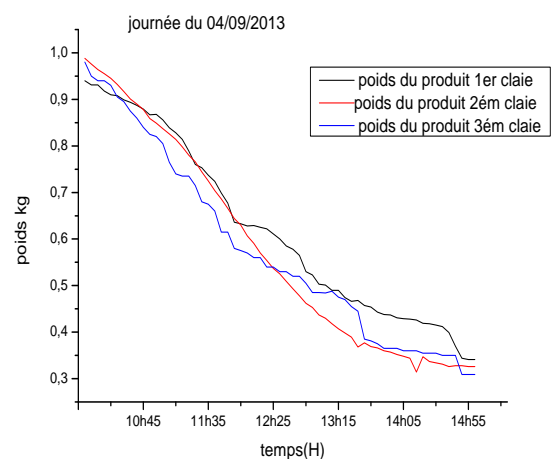


Figure IV.40. Variation du produit de séchage.

Les figures IV.39 et IV.40 présentent respectivement la variation de l'humidité et la variation du poids du produit au niveau des trois claies

On observe sur la courbe IV.39 que l'humidité au début de séchage diminue rapidement et ça est dû à l'apport de chaleur par convection et par éclairage qui engendre une élimination d'eau du produit

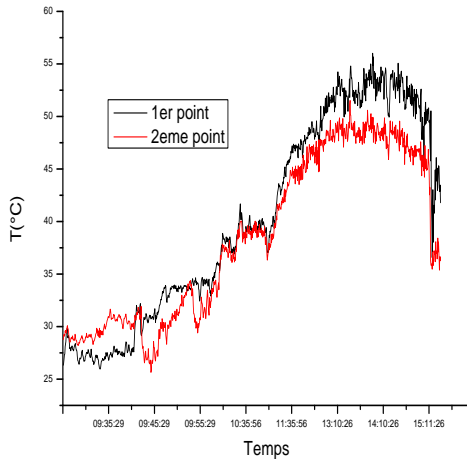


Figure IV.41. Evolution de la température en deux points de claie 1

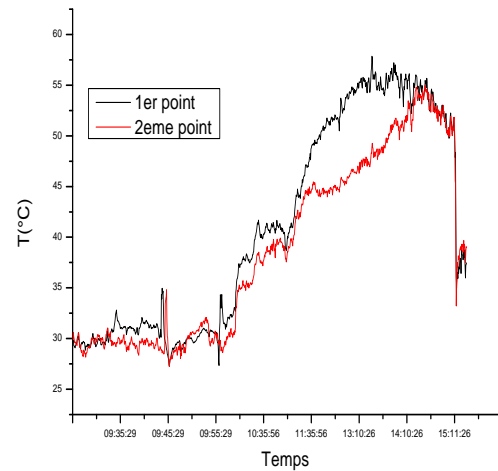


Figure IV.42. Evolution de la température dans deux points de claie 2

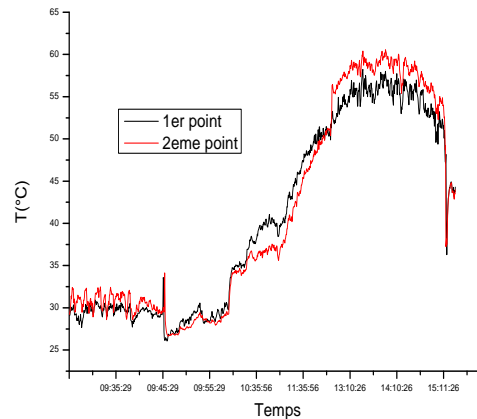


Figure IV.43. Evolution de la température 3 dans deux points de claie 3

En ce qui concerne les températures on observe que les températures à l'intérieur de la serre les figures IV (41,42 et43) sont très élevées par rapport a celle présentée sur la figure IV. (38)

température ambiante et ça est dû à l'effet de serre qui conjugue deux phénomènes radiatif et convectif ce qui nous mène à dire que ces deux derniers fonctionnent correctement à l'intérieur de la serre

Ainsi la courbe (IV.42) montre que la température de 2 em points au niveau de la claie 2 commence à augmenter logiquement jusqu'à un certain moment (entre 11h30 et 13h00,) elle chute par rapport au 1^{er} point .on explique ce phénomène par l'effet de l'ombre que subi ce point durant ce temps

Cette observation était remarquée pendant tous les essais dans cet intervalle du temps ce point de la claie ne reçoit pas l'éclairement direct sauf la chaleur qui lui arrive du bas de la serre

IV.5 CONCLUSION

Après les tests et leurs interprétations nous concluons que le fonctionnement de la serre est conditionné par les données climatiques comme la température ambiante, l'humidité ,l'éclairement solaire et vitesse du vent, ainsi par les données géométriques de cette dernière (hauteur et la longueur) donc l'objectif de ce chapitre est de tester l'influence de quelques paramètres pour pouvoir les contrôler correctement lors d'une opération de séchage bien réussi .

CONCLUSION GENERALE

Le travail présenté porte sur l'étude, le dimensionnement, la réalisation d'une serre solaire de nouvelle conception pour le séchage des produits agro-alimentaires. Les résultats obtenus vont contribuer au développement du séchage à l'aide de systèmes de conversion solaires qui sont plus performant, plus économique et respectueux de l'environnement.

La serre réalisée est de conception simple et est fabriquée à partir de matériaux locaux. La technique utilisée n'est pas sophistiquée et est peu coûteuse.

Afin d'évaluer les performances du séchage, des tests expérimentaux ont été effectués et des mesures prélevées en fonction de divers paramètres tel que la hauteur, la longueur la température et l'humidité.

Les résultats des tests ont montré que le paramètre dont l'influence est dominante est la température. La croissance de la température entraîne une augmentation de la vitesse de séchage. Il a été aussi constaté que lors des opérations de séchage effectuées sur des déchets alimentaires (déchets de poivron rouge et de pomme), la vitesse de séchage du produit exposé sur les trois claies de la serre diffère. En effet, le produit exposé sur la troisième claie sèche plus vite que celui exposé sur les deux autres claies. Ceci s'explique par le fait que lors de sa circulation, l'air en montant, s'humidifie de plus en plus ce qui engendre la diminution de temps de séchage.

Les présents travaux constituent les premiers résultats d'un projet de recherche, qui vise à mieux maîtriser le domaine de séchage. Il est clair que pour améliorer les performances il serait judicieux d'ajouter un système de ventilation qui pourrait réguler la circulation en fonction du produit à sécher.

En perspective une étude technico-économique doit être réalisée afin de déterminer le coût de l'installation. En outre, il serait intéressant d'intégrer un modèle de dimensionnement tel plan d'expérience pour optimiser les paramètres de construction.

Références bibliographiques

- [1] Le séchage un procédé ancien en évolution, Article le bulletin d'information technologique juillet 2011
- [2] « Etude d'un séchoir solaire fonctionnant en mode direct et indirect » Mémoire magistère N.CHALAL université MENTOURI, de Constantine Algérie. (2007)
- [3] Etude théorique et expérimentale du séchage solaire de certains produits agro-alimentaires »Mémoire magistère HOUHOU.HATEMU université Mohamed Khider – Biskra, Algérie 2012
- [4] « Modélisation et simulation du procédé de séchage solaire de feuilles de menthe » Mémoire magistère Mouafki. Achoura université d'Ouargla Algérie (2004)
- [5] « Etude théorique d'une serre a section triangulaire isolée à faible cout pour le séchage des produits agricole »Malik. EL'HOUYOUN.AHAMADI université d'Antananarivo (2010)
- [6] « Etude et optimisation du séchage solaire des produits agro-alimentaires des zones arides et désertique » ; mémoire de doctorat Slimane. Boughali université HADJ LAKHDAR BATNA (2010)
- [7] « Etude de la faisabilité de la mise en place d'un petit atelier de transformation de fruits à Kandahar » ROZIS.1 Afghanistan (2000)
- [8] « Application du séchage solaire pour la conservation des produits agroalimentaires » Mémoire magistère ; Warda.Belachi université Kasdi Merbah Ouargla Algérie (2009)
- [9] « Modélisation du séchage solaire sous serre des boues de station d'épuration urbaine »H.AMADOU école doctorale MSII université louis pasteur Strasbourg I,France (2007)
- [10] “Solar energy drying systems: A review Atul Sharma, C.R.Chen, Nguyen Vu Lan department of mechanical engineering, (2009)

- [11] « Etude théorique et expérimentale du séchage solaire des feuilles de la menthe verte » TOUATI. Université Houari Boumediene USTHB (2008)
- [12] « Le séchoir solaire théorie et pratique » publication Michel Dagueneat Unesco place de Fontenoy 75700 France (1985)
- [13] « Améliorations des performances des capteurs solaires plans à air application au séchage de l'oignon jaune et du hareng » A.Ahmed-zaid A.Moulla M.Hantala et J.Y.Desmons revue énergies renouvelables 69-78.vol 4 (2001)
- [14] « Etude Expérimentale d'un Séchoir Solaire R. Miri, O. Mokrani, F. Siad et M. Belhamel, Département de Génie Mécanique, USTHB ALGER.et CDER. Article Revue. Energie. Renouvelable. Zones Arides(2002) 41-48
- [15] « Etude du bilan d'énergies et de masse d'un séchoir de type serre application au séchage des produits agro-alimentaires » article S.EL Mokretar, R.Miri et M. Belhamel CDER et U.S.T.H.B. Revue. Energie. Renouvelable. Vol. 7 109-123 (2004)
- [16] « La modélisation thermique d'un séchage par convection naturelle à effet de serre système pour jagré » Une validation expérimentale Anil.Kumar ; G.N.Tiwari université de technologie inde (2005)
- [17] « Séchage de raisin en utilisant un système hybride photovoltaïque-thermique (PV / T) à effet de serre pour séchage»: P.Barnwal et G.N.Tiwari institut de technologie DELHI INDE (2008)
- [18] « Comportement thermique d'un séchoir solaire direct Type serre dans la région de Ghardaïa » S. Kherrou, S.M.A. Bekkouche et L. Serir Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables, 'URAER'Ghardaïa, Algérie (2008)
- [19] « Séchage du raisin en plein air, dans un séchoir et sous serre. Modèle mathématique et validation expérimentale » A. Fadhel1, S. Kooli1, A. Farhat1 et A. Belghith. Article Revue des Energies Renouvelables CICME'08 127 – 142 Tunis (2008)

[20] « Le séchage solaire des boues état actuel de l'art et retour d'expérience » C.Brison.J.M.Perret et J.P.Canler (2009)

[21] « Impact du Microclimat Distribué sur la Performance Energétique des Bâtiments »thèse de doctorat, Cas des Serres dans les Régions Semi-arides et océaniques Serir Lazhar université de Batna, Algérie (2012)

[22] Thèse « Impact du Microclimat Distribué sur la Performance Energétique des Bâtiments Agricoles : Cas des Serres dans les Régions Semi-arides et Océaniques

[23] « le séchage solaire des boues, état actuel de l'art et retours d'expérience » Brisson, J.M.Perret et J.P.Canler document technique département écotechnologies Lyon France (2005)

[24] Le rayonnement solaire « conversion thermique et application »

[25] « Contribution théorique et expérimentale à l'étude du bilan d'énergie et de masse d'un séchoir solaire de type serre. Application à la détermination de la cinétique de séchage des prunes ». EL MOKRETAR. Sofiane mémoire magister université de Houari.Boumediane USTHB Algérie (2009)

[26] « Etude théorique et expérimentale des performances de trois capteurs solaires plan à eau thèse de magister, N. Kasbadji, Haut commissariat à la recherche (1986)

[27] « calculation of flat plate collector loss coefficient technical not S.A Klein solar Energy vol 17, (1975)

[28] J. Duffie and W. Beckman.Solar Engineering of Thermal Processes.John Wiley and Sons, Hoboken, New Jersey, USA, 3rd edition, 2006.