



Université Mohamed Khider de Biskra  
Faculté des sciences et de la technologie  
Département de Génie Mécanique

## MÉMOIRE DE MASTER

**Domaine :** Sciences et Techniques

**Filière :** Génie Mécanique

**Spécialité :** Energétique

Réf.: Entrez la référence du document

---

Présenté et soutenu par:  
**Mr. Oussama Bousaria**

# Étude d'un Séchoir solaire à convection forcée pour le séchage d'orange à Biskra

---

### Jury:

Mr. LABED Adnane	Pr	Université de Biskra	Président
Mr. CHABANE Foued	MCA	Université de Biskra	Rapporteur
Mr. GUERBAAI Salah	MCA	Université de Biskra	Examineur

Année universitaire: 2020-2021

## *Remerciement*

*On remercie dieu le tout puissant de nous avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire.*

*Tout d'abord, ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu avoir le jour sans l'aide et l'encadrement de Mr. CHABENÉ FOUÉD, on le remercie pour la qualité de son encadrement durant notre préparation de ce mémoire.*

*Je tiens également à remercier les membres du jury pour avoir accepté l'évaluation de mon travail*

*Merci aux enseignants et enseignantes qui m'ont formé durant ces 5 dernières années et à leur encouragement et leur gentillesse*

## *Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail à : a mes parents. Aucun hommage ne pourrait être à la hauteur de l'amour Dont ils ne cessent de me combler.*

*À celui qui m'a soutenue tout au long de ce projet a mon frère :*

*Je dédie le fruit de mon travail aux parents bien-aimés qui m'aident et soutiennent ma chère mère tout au long de ma vie aux sacrifices que j'ai faits pour m'aider pendant mes études. Je demande à Dieu de leur accorder bonheur et santé à mes chers frères.*

*Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce projet soit possible, je vous dis merci.*

# «Nomenclature»

<i>AC</i> : Zone d'ouverture de l'absorbeur	(m <sup>2</sup> )
<i>d</i> : diamètre du produit	(mm)
<i>Deff</i> : diffusivités efficaces	
<i>ep</i> : épaisseur du produit	(mm, m)
<i>G</i> : intensité du rayonnement solaire	(W/m <sup>2</sup> )
<i>h</i> : coefficient de transfert de chaleur	(W/m <sup>2</sup> °C)
<i>IT</i> : Incident de rayonnement solaire total sur le capteur	(W/m <sup>2</sup> )
<i>L</i> : longueur	(°)
<i>M</i> : masse de produit	(kg)
<i>m</i> : débit massique d'air	(Kg/s)
<i>H</i> : hauteur de la grille de l'entrée à la salle de séchage	(cm)
<i>M0</i> : teneur en humidité initiale	(%, base humide)
<i>Md</i> : Masse sèche de produit	(g) ou (kg)
<i>Meq</i> : teneur en humidité d'équilibre	(%, base humide)
<i>Mexp.i</i> : le taux d'humidité expérimental	(%)
<i>Mh</i> : Masse humide de produit	(kg)
<i>MR</i> : taux d'humidité	(%)
<i>Mt</i> : teneur en humidité à tout moment de séchage	(%, base humide)
<i>N</i> : le nombre d'observations	
<i>Q</i> : Énergie utile réelle collectée	(W)
<i>HR</i> : humidité relative	(%)
<i>t</i> : temps de séchage	(s, min, h)
<i>T<sub>sc</sub></i> : température ambiante	(°C)
<i>T<sub>ech</sub></i> : température d'entrée de la salle de séchage	(°C)
<i>T<sub>ch</sub></i> : température de la chambre de séchage	(°C)
<i>T<sub>pro</sub></i> : température du produit	(°C)
<i>V</i> : vitesse de l'air	(m/s)
<i>χ</i> : Humidité absolue d'un solide	(kg/kg ( <i>Md</i> ))
<i>η</i> : efficacité du capteur solaire	(%)
<i>φ</i> : Latitude du lieu	(°)

# Liste de figure

## Chapitre I

<b>Figure (I-1):</b>	Schéma d'un capteur plan à air .....	4
<b>Figure (I-2):</b>	Principe d'un capteur solaire plan .....	4
<b>Figure (I-3):</b>	Fonctionnement d'un capteur solaire plan.....	5
<b>Figure (I-4):</b>	Un angle capteur plat (hiver-été) .....	6
<b>Figure (I-5):</b>	Schéma du lyophilisateur.....	7
<b>Figure (I-6):</b>	Principale of the osmotique déshydrations .....	8
<b>Figure (I-7):</b>	Un système de roue déshydratante pour l'application de séchage .....	8
<b>Figure (I-8):</b>	Vitesse de séchage $(-dM/dt)=f(M)$ .....	8
<b>Figure (I-9):</b>	Vitesse de séchage $(-dM/dt)=f(t)$ .....	11
<b>Figure (I-10):</b>	Courbes de séchage .....	11
<b>Figure (I-11):</b>	Classification des séchoirs solaires selon .....	12
<b>Figure (I-12):</b>	Illustration d'un séchoir solaire directe .....	13
<b>Figure (I-13):</b>	Séchoirs solaires indirects .....	13

## Chapitre II

<b>Figure (II-1):</b>	Schéma descriptif du dispositif .....	16
<b>Figure (II-2):</b>	Evolution de la teneur en eau réduite en fonction du temps pour diverses températures de l'air. 'peaux d'oranges' ( $V_a=1,8m/s$ ).....	17
<b>Figure (II-3):</b>	Photographie du sécheur indirect.....	17
<b>Figure (II-4):</b>	Détail du capteur solaire d'air montrant: (a) sa composition, (b) les chicanes droites, (c) les chicanes obliques, et (d) les flux généré.....	18
<b>Figure (II-5):</b>	Teneur en eau fonction du temps et de la vitesse de l'air .....	18
<b>Figure (II-6):</b>	Vue latérale du système (séchoir - capteur).....	19
<b>Figure (II-7):</b>	Influence de la température d'entrée de l'air chaud sur la vitesse de séchage .....	19
<b>Figure (II-8):</b>	Photo du séchoir solaire testé.....	20
<b>Figure (II-9):</b>	Variation du taux d'humidité en fonction du temps de séchage représenté à divers débits d'air à différents jours.....	20
<b>Figure (II-10):</b>	Comparaison entre les taux d'humidité expérimentaux et ceux prédits pour Lemon blam calculés à l'aide du modèle wang et singh.....	20

<b>Figure (II-11):</b>	Les quatre méthodes traditionnelles de séchage solaire et le sécheur solaire amélioré proposé. a) la méthode du séchoir solaire conventionnel (CSD), b) les méthodes du store en tissu blanc (WCS) et du store en tissu noir (BCS), c) la méthode du séchoir solaire amélioré (ISD), et d) le séchage traditionnel à ciel ouvert (OSD) méthode.....	21
<b>Figure (II-12):</b>	Le nouveau séchoir solaire amélioré (ISD) proposé pour les fruits tropicaux.....	22
<b>Figure (II-13):</b>	Images des échantillons de fruits frais et secs (mangue et ananas). Images d'ananas frais (a), tranchés (b) et séchés (c) (cv. Cayenne lisse); Images de mangues fraîches (d), tranchées (e) et séchées (f).....	22
<b>Figure (II-14):</b>	Variation de la teneur en humidité avec le temps de séchage des tranches de mangue séchées selon les méthodes de séchage solaire (OSD, BCS, WCS, CSD et ISD) au NMAIST, Tanzanie.....	22
<b>Figure (II-15):</b>	Variations moyennes de la teneur en humidité des ananas avec le temps de séchage.....	22
<b>Figure (II-16):</b>	L'échelle laboratoire du séchoir solaire pivotant.....	23
<b>Figure (II-17):</b>	séchage de tranche de tomate 3, 5 et 7 mm.....	23
<b>Figure (II-18):</b>	Variation du taux d'humidité avec séchage.....	24
<b>Figure (II-19):</b>	Variation du débit massique du air de séchage avec l'irradiante solaire (GT.).....	24
<b>Figure (II-20):</b>	Schéma de la configuration expérimentale.....	25
<b>Figure (II-21):</b>	Changements dans les niveaux de composés bioactifs dans la cerise séchée en fonction de la température de séchage et de la période de stockage.....	25
<b>Figure (II-22):</b>	Séchoir experimental.....	26
<b>Figure (II-23)</b>	Evolution de la teneur en eau des prunes.....	26
<b>Figure (II-24):</b>	vitesse journalière séchage des prunes au cours du séchage.....	26
<b>Figure (II-25):</b>	Evolution journalière de la température flux solaire global .....	27
<b>Figure (II-26):</b>	Evolution et du temporelle de la Teneur en eau réduite .....	27
<b>Figure (II-27):</b>	Evolution de la diffusivité effective en fonction de la teneur en eau des prunes.....	27
<b>Figure (II-28):</b>	diffusivité effective durant la 3 <sup>ème</sup> journée de séchage (test 2004) .....	27
<b>Figure (II-29):</b>	diffusivité effective journalière en fonction de la température (test 2004).....	27
<b>Figure (II-30):</b>	Installation expérimentale pour le séchage solaire en mode mixte par convection naturelle .....	28
<b>Figure (II-31):</b>	Comparaison entre les teneurs en humidité dimensionnelles expérimentales et calculées obtenues en utilisant des paramètres de séchage variables et constants	

	pour les cylindres de pomme de terre.....	28
<b>Figure (II-32):</b>	Comparaison entre les teneurs en eau dimensionnelles expérimentales et calculées obtenues en utilisant des paramètres de séchage variables et constants pour les tranches de pomme de terre .....	29
<b>Figure (II-33):</b>	Distribution mesurée et prédite de la teneur en humidité sans dimension obtenue en utilisant des paramètres de séchage constants pour les tranches de pomme de terre...	29

## Chapitre III

<b>Figure (III-1):</b>	Image satellite de la zone d'expérience.....	31
<b>Figure (III-2):</b>	Courbes de température et d'humidité relative de Biskra.....	32
<b>Figure (III-3):</b>	Configuration expérimentale (capteur solaire avec chambre de séchage).....	32
<b>Figure (III-4):</b>	Configuration expérimentale de la chambre de séchage.....	33
<b>Figure (III-5):</b>	Orifices dans la chambre de séchage.....	33
<b>Figure (III-6):</b>	Support du produit de séchage.....	33
<b>Figure (III-7):</b>	capteur solaire avec chambre de séchage sans chicane .....	34
<b>Figure (III-8):</b>	capteur solaire avec chambre de séchage avec chicane .....	34
<b>Figure (III-9):</b>	Une balance électronique numérique.....	34
<b>Figure (III-10):</b>	Un thermomètre-contrôle (modèle TPM-10).....	35
<b>Figure (III-11):</b>	A thermocouples de type k .....	35
<b>Figure (III-12):</b>	Hygromètre (modèle PCE-555).....	35
<b>Figure (III-13):</b>	parano mètre .....	36
<b>Figure (III-14):</b>	Un anémomètre numérique (modèle KIMO-LVA).....	36
<b>Figure (III-15):</b>	Voltage régulateur (AC 220V 4000W).....	37
<b>Figure (III-16):</b>	Représente de Moteur d'aspiration d'air.....	37
<b>Figure (III-17):</b>	Tranches de orange humides et séchées sans chicanes de 3 mm d'épaisseur, 80mm de diamètre, le débit 0,019 Kg /S.....	38
<b>Figure (III-18):</b>	Tranches de orange humides et séchées sans chicanes de 5 mm d'épaisseur,80mm de diamètre, le débit 0,019 Kg /s.....	38
<b>Figure (III-19):</b>	Tranches de orange humides et séchées sans chicanes de 7 mm d'épaisseur, 80mm de diamètre, le débit 0,024 Kg /s.....	38
<b>Figure (III-20):</b>	Tranches de orange humides et séchées avec chicanes de 3 mm d'épaisseur, 80mm de diamètre, le débit 0,019 Kg /s.....	38
<b>Figure (III-21):</b>	Tranches de orange humides et séchées avec chicanes de 5mm d'épaisseur, 80mm	

	de diamètre, le débit 0,019 Kg /s.....	39
<b>Figure (III-22):</b>	Tranches de orange humides et séchées avec chicanes de 7mm d'épaisseur, 80mm de diamètre, le débit 0,019 Kg /s .....	39

## Chapitre IV

<b>Figure (IV-2a):</b>	Variation de l'intensité du rayonnement solaire de séchage sans chicane ep=3mm...	43
<b>Figure (IV-2b):</b>	Variation de l'intensité du rayonnement solaire de séchage sans chicane ep=3mm....	43
<b>Figure (IV-2c):</b>	Variation de l'intensité du rayonnement solaire de séchage sans chicane ep=3mm....	44
<b>Figure (IV-2d):</b>	Variation de l'intensité du rayonnement solaire de séchage avec chicane ep=3mm....	43
<b>Figure (IV-2e):</b>	Variation de l'intensité du rayonnement solaire de séchage avec chicane ep=5mm...	43
<b>Figure (IV-2f):</b>	Variation de l'intensité du rayonnement solaire de séchage avec chicane ep=7mm...	44
<b>Figure (IV-3a):</b>	Variation de température de sortie de capteur sans chicane ep=3mm.....	45
<b>Figure (IV-3b):</b>	Variation de température de sortie de capteur sans chicane ep=5mm.....	45
<b>Figure (IV-3c):</b>	Variation de température de sortie de capteur sans chicane ep=7mm.....	46
<b>Figure (IV-3d):</b>	Variation de température de sortie de capteur avec chicane ep=3mm.....	45
<b>Figure (IV-3e):</b>	Variation de température de sortie de capteur avec chicane ep=5mm.....	45
<b>Figure (IV-3f):</b>	Variation de température de sortie de capteur avec chicane ep=7mm.....	46
<b>Figure (IV-4a):</b>	Variation de température d'entrée de chambre de séchage sans chicane ep=3mm....	47
<b>Figure (IV-4b):</b>	Variation de température d'entrée de chambre de séchage sans chicane ep=5mm....	47
<b>Figure (IV-4c):</b>	Variation de température d'entrée de chambre de séchage sans chicane ep=7mm....	47
<b>Figure (IV-4d):</b>	Variation de température d'entrée de chambre de séchage avec chicane ep=3mm....	47
<b>Figure (IV-4e):</b>	Variation de température d'entrée de chambre de séchage avec chicane ep=5mm....	47
<b>Figure (IV-4f):</b>	Variation de température d'entrée de chambre de séchage avec chicane ep=7mm....	47
<b>Figure (IV-5a):</b>	Variation de température de produit sécher sans chicane ep=3mm.....	49
<b>Figure (IV-5b):</b>	Variation de température de produit sécher sans chicane ep=5mm.....	49
<b>Figure (IV-5c):</b>	Variation de température de produit sécher sans chicane ep=7mm.....	49
<b>Figure (IV-5d):</b>	Variation de température de produit sécher avec chicane ep=3mm.....	49
<b>Figure (IV-5e):</b>	Variation de température de produit sécher avec chicane ep=5mm.....	49
<b>Figure (IV-5f):</b>	Variation de température de produit sécher avec chicane ep=7mm.....	49
<b>Figure (IV-6a):</b>	Variation de la température de chambre de séchage sans chicane ep=3mm.....	51
<b>Figure (IV-6b):</b>	Variation de la température de chambre de séchage sans chicane ep=5mm.....	51
<b>Figure (IV-6c):</b>	Variation de la température de chambre de séchage sans chicane ep=7mm.....	51
<b>Figure (IV-6d):</b>	Variation de la température de chambre de séchage avec chicane ep=3mm.....	51
<b>Figure (IV-6e):</b>	Variation de la température de chambre de séchage avec chicane ep=5mm.....	51



<b>Figure (IV-6f):</b>	Variation de la température de chambre de séchage avec chicane $ep=7mm$ .....	51
<b>Figure (IV-7a):</b>	Variation du taux d'humidité réduit MR sans chicane $ep=3mm$ .....	53
<b>Figure (IV-7b):</b>	Variation du taux d'humidité réduit MR sans chicane $ep=5mm$ .....	53
<b>Figure (IV-7c):</b>	Variation du taux d'humidité réduit MR sans chicane $ep=7mm$ .....	53
<b>Figure (IV-7d):</b>	Variation du taux d'humidité réduit MR avec chicane $ep=3mm$ .....	53
<b>Figure (IV-7e):</b>	Variation du taux d'humidité réduit MR avec chicane $ep=3mm$ .....	53
<b>Figure (IV-7f):</b>	Variation du taux d'humidité réduit MR avec chicane $ep=3mm$ .....	53

# Listes de Tableaux

## Chapitre I

<b>Tableau (I.1):</b>	Avantages et inconvénients pour les différents types de séchoirs solaire .....	15
-----------------------	--	----

## Chapitre III

<b>Tableau (III-1):</b>	Modèles à couches minces pour le séchage des fruits et légumes .....	30
-------------------------	--	----

# Sommaire

<b>Dédicace</b> .....	
<b>Remerciements</b> .....	
<b>Nomenclature</b> .....	
<b>Liste des figures</b> .....	
<b>Liste des tableaux</b> .....	
<b>Sommaire</b> .....	
<b>Introduction</b> .....	

## **Chapitre I : Application et processus de séchage solaire**

I.1. Introduction.....	03
I.2. Capteur solaire.....	03
I.2.1. Technologie des capteurs solaires plans (vitrés à air) .....	03
I.2.1.1. Composants du système de conversion thermique.....	03
I.2.1.2. Principe d'un capteur solaire plan.....	04
I.2.1.3. Fonctionnement d'un capteur solaire plan.....	05
I.2.1.4. L'efficacité des capteurs solaires.....	05
I.2.1.5. Composants des capteurs solaires d'air.....	06
I.2.1.6. Position et orientation d'un capteur.....	06
I.2.2. Application de capteurs solaires.....	06
I.3. Généralités sur le séchage.....	07
I.3.1. Méthodes de séchage.....	07
I.3.1.1. Séchage en lit fluidisé .....	07
I.3.1.2. Lyophilisation.....	07
I.3.1.3. Le Séchage Osmovac (déshydratation osmotique).....	08
I.3.1.4. Séchage déshydratant.....	08
I.3.2. applications du séchage solaire.....	08
I.3.2.1. Le séchage solaire agricole.....	09
I.3.2.2. Le séchage solaire industrielle.....	09
I.3.3. Terminologie du séchage.....	09
I.3.3.1. Humidité .....	09

I.3.3.2. Taux d'humidité.....	09
I.3.3.3. Humidité absolue d'un solide.....	09
I.3.3.4. Humidité relative.....	09
I.3.4. Effet des paramètres sur le séchage.....	10
I.3.4.1. Température.....	10
I.3.4.2. Débit massique.....	10
I.3.4.3. Humidité relative de l'air.....	10
I.3.4.4. Teneur en humidité du produit de séchage.....	10
I.3.5. Vitesse de séchage.....	10
I.3.6. Périodes de taux de séchage.....	11
I.4. Classification des séchoirs solaires.....	12
I.4.1. Les séchoirs solaires directs.....	12
I.4.2. Les séchoirs solaires indirects.....	13
I.4.3. Les avantages et les inconvénients pour les différents systèmes de séchage solaire.....	14
I.5. Conclusion.....	14
References.....	15

## **Chapitre II : Étude bibliographique**

II.1. Introduction.....	16
II.2. Etude bibliographique.....	16
II.3. Conclusion.....	29
References.....	30

## **Chapitre III : Étude expérimentale et théorique**

III.1. Introduction.....	31
III.2. Localisation des expériences et climat de zone.....	31
III.2.1. Lieu des expériences.....	31
III.2.2. Climat zone expérimentale.....	31
III.3. Étude expérimentale.....	32
III.3.1. Fabrication de la chambre de séchage.....	32
III.3.2. Procédure expérimentale.....	34
III.4. Etude théorique.....	39
III.4.1. Calcul des diffusivités effectives.....	40
III.5. Conclusion.....	41
References.....	42

## **Chapitre IV : Résultats et discussion**

IV.1.Introduction.....	43
IV.2. Variation de l'intensité du rayonnement solaire.....	43
IV.3. Variation de la température sortie de capteur.....	45
IV.4. Variation de la température d'entrée de la chambre de séchage.....	47
IV.5. Variation de température de produit sécher.....	49
IV.6. Variation de la température de chambre .....	51
IV.7. Variation de teneur d'eau MR.....	54
IV.8. Conclusion.....	54



## « Introduction générale »

Dans les âges anciens cela n'a pas été une nouvelle découverte sur l'utilisation de l'énergie solaire, elle a été utilisée dans divers domaines depuis de nombreux siècles, cela a été reconnu et célébré par toutes les cultures cela confirme que l'histoire de la conversion de l'énergie solaire est longue, variée et passionnante.

Le séchage au soleil varie d'une région à l'autre et pour assurer le succès de ce processus; La zone désignée doit avoir une température ambiante élevée et une forte intensité de rayonnement solaire, et le temps de séchage et le maintien de la qualité du produit sont les deux critères de base pour choisir la méthode de séchage appropriée car l'Algérie bénéficie de beaucoup de soleil pendant la plupart des jours de l'année. Il bénéficie d'un ensoleillement

annuel moyen d'environ 2 500 heures, et reçoit une énergie solaire quotidienne moyenne de 16,2 à 27 MJ / m<sup>2</sup> au niveau horizontal (**Bennamoun & Belhamri, 2007**).

L'énergie reçue sur terre du soleil est définie comme l'énergie émise par le soleil principalement sous forme de chaleur et de lumière. Il est considéré comme une ressource énergétique primaire qui garantit la continuité de la vie sur terre, comme le soleil est une énergie inépuisable sa disponibilité quotidienne, et la plus indispensable. L'utilisation principale de cette énergie basée sur la capture de la lumière du soleil et sa conversion ultérieure en électricité.

L'énergie solaire a de nombreuses applications importantes, y compris le séchage solaire qui est considéré comme une technique commune à toutes les autres applications, le séchage solaire est connu comme le processus d'élimination de l'humidité d'un produit humide comme les fruits et légumes pour le conserver et l'utiliser au besoin à tout moment.

Un séchoir solaire correctement conçu peut alléger les inconvénients liés au séchage ouvert du soleil, il y a également simulation des études sur les séchoirs solaires (directs, indirects) et le comportement de divers légumes et fruits, caractérisé par la cinétique de séchage, Beaucoup de scientifiques ont étudié la modélisation de séchage solaire des produits agricoles.

L'objectif principal de cette thèse est d'étudier le comportement de séchage solaire, en utilisant un séchoir solaire indirect et une salle de séchage sous convection forcée, en plus de déterminer un modèle mathématique en utilisant les données expérimentales réalisés dans le site expérimental au sien de l'université MOHAMED KHIDER Biskra, pour calculer le taux d'humidité de ce comportement de séchage.

Notre mémoire se compose de quatre chapitres:

Le premier chapitre présente une revue de l'importance des capteurs solaires et décrit le processus de séchage solaire et tout le nécessaire pour le réaliser.

Le deuxième chapitre se compose du deuxième chapitre consiste en une étude bibliographique et présente plusieurs études antérieures qui ont un but commun avec notre travail.

Le troisième chapitre décrit les étapes de l'expérience et montre tous les outils de mesure et les matériaux nécessaires pour assurer l'opération de séchage, ainsi que la méthode de détermination du modèle.

Le dernier chapitre explique et interprète les résultats expérimentaux obtenus, qui ont été traduits en courbes



# Chapitre I

Application

Et

Processus

De séchage solaire

## **I-1 introduction :**

Le séchage solaire est l'un des procédés les plus anciens de conservation des produits agricoles utilisés par les humains. Le séchage solaire est souvent différencié du «séchage au soleil» par l'utilisation d'équipements de collecte du rayonnement solaire pour l'utiliser pour le séchage des produits agricoles.

Le séchage solaire est considéré comme l'opération unitaire qui consiste à éliminer par évaporation l'eau d'un corps humide (produit). Ce dernier peut être solide ou liquide, mais le produit final est solide. L'objectif de sécher un produit est d'abaisser sa teneur en eau, de telle sorte que son activité de l'eau soit portée à une valeur permettant sa conservation à une température ordinaire sur de longues durées.

Donc dans ce premier chapitre nous allons voir les différentes méthodes et modes de séchage solaire, et présenter le fonctionnement et les composants des capteurs solaires les plus efficaces dans le séchage, définir également les types de séchoirs existants et à quoi servent-ils.

## **I.2. Capteurs solaire :**

Les capteurs solaires thermiques sont des appareils spéciaux d'échangeur de chaleur qui permettant la conversion de l'énergie de rayonnement solaire en énergie thermique [1].

Fondamentalement, Il existe deux principaux types de capteurs solaires :

- les capteurs plans.
- les capteurs par concentration.

### **I.2.1. Technologie des capteurs solaires plans : (vitrés à air)**

#### **I.2.1.1. Composants du système de conversion thermique:**

Tout système de conversion de l'énergie solaire doit comprendre les éléments suivants :

- 1- Une surface de captation du rayonnement solaire.
- 2- Un circuit caloporteur qui assure le transfert de l'énergie extraite du capteur à l'élément d'accumulation voir **Figure (I.1)** (stockage des calories), les fluides utilisés généralement comme fluide caloporteur sont [2] : l'eau et l'air.
  - 3- Un stockage thermique.
  - 4- Un réseau de distribution.

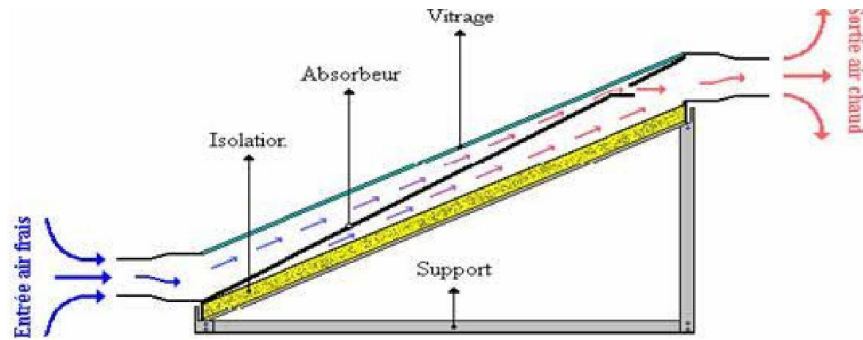


Figure (I.1): Schéma d'un capteur plan à air.

### I.2.1.2. Principe d'un capteur solaire plan :

Les capteurs solaires thermiques constituent le cœur des installations destinées à transformer l'énergie transmise par le soleil en chaleur.

Le rayonnement solaire est absorbé par une surface noire, parcourue par un fluide caloporteur qui extrait l'énergie thermique et la transfère vers son lieu d'utilisation ou de stockage.

Une isolation thermique est disposée à l'arrière et sur la périphérie du capteur pour limiter les déperditions par conduction [3].

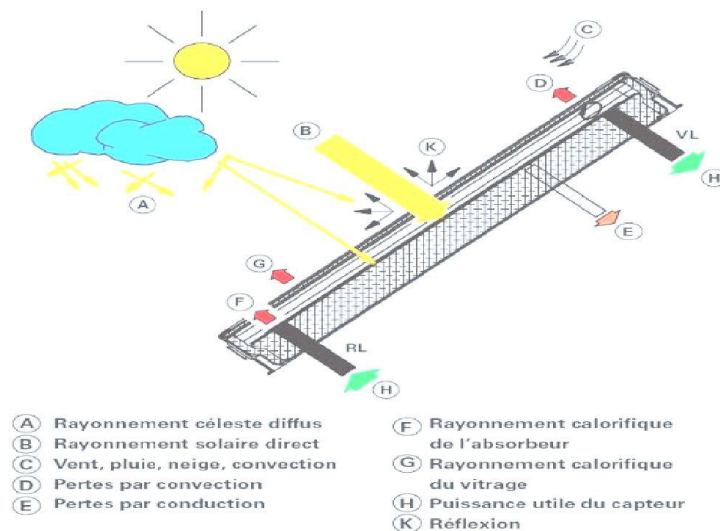


Figure (I.2): Principe d'un capteur solaire plan

### I.2.1.3. Fonctionnement d'un capteur solaire plan :

Le principe de fonctionnement d'un capteur solaire plan est très simple (Figure I.3) [4]:

Le rayonnement solaire traverse la vitre et arrive sur l'absorbeur muni d'une surface sélective où il est converti en chaleur à sa surface. Le fluide caloporteur qui circule dans l'absorbeur conduit la chaleur captée vers un échangeur de chaleur, à partir duquel elle est transmise au consommateur.

Le vitrage est transparent pour le rayonnement visible et le proche I.R mais opaque pour le rayonnement I.R lointain émis par l'absorbeur, ainsi, la couverture transparente crée un effet de serre.

L'isolation thermique en dessous et autour du capteur diminue les déperditions thermiques et augmente ainsi son rendement.

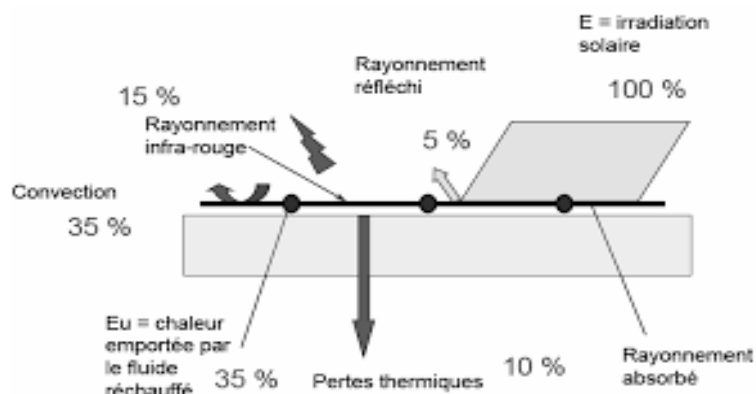


Figure (I.3): fonctionnement d'un capteur solaire plan.

### I.2.1.4. L'efficacité des capteurs solaires :

L'efficacité des capteurs solaires dépend du matériau recouvert du capteur; vitesse de l'air, l'absorbeur et sa place dans le capteur, le principal paramètre d'efficacité d'un capteur solaire est le degré de chauffage de l'air [5], le rendement instantané du capteur solaire  $\eta$  est défini comme [6] :

$$\eta = \frac{\text{puissance thermique utile}}{\text{flux solaire incident sur le plan du capteur}} = \frac{Q}{I_T \cdot A_c} \quad (\text{I-1})$$

Où:

$Q$ : puissance thermique utile [W].

$I_T$ : Rayonnement solaire total incident sur le capteur [ $\text{W}/\text{m}^2$ ].

$A_c$ : Zone d'ouverture de l'absorbeur [ $\text{m}^2$ ].

### I.2.1.5. Composants des capteurs solaires d'air [7] :

-**L'absorbeur** : L'absorbeur est l'un des éléments les plus importants d'un capteur thermique; il convertit le rayonnement solaire en chaleur.

-**La vitre** : Le vitrage permet de protéger l'intérieur du capteur contre les effets de l'environnement et d'améliorer le rendement du système par effet de serre

-**L'isolant** : L'isolant thermique permet de limiter les déperditions thermiques, sa caractéristique est le coefficient de conductivité; plus il est faible meilleur est l'isolant.

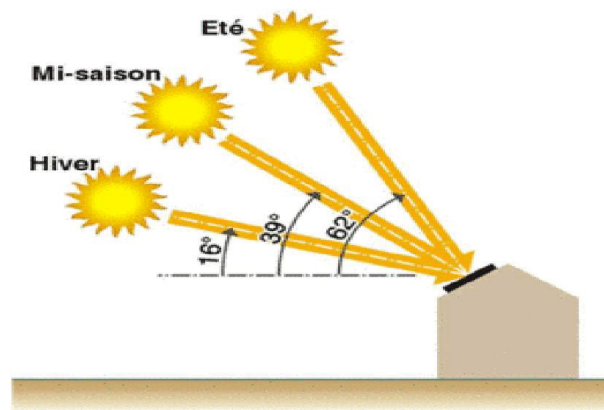
**Le fluide caloporteur** : Le fluide caloporteur (ou calorporteur) permet d'évacuer la chaleur emmagasinée par l'absorbeur et de la transmettre vers là où elle doit être consommée

### I.2.1.6. Position et orientation d'un capteur :

La hauteur du soleil sur le ciel change presque chaque semaine de l'année. Le plus haut est en été quand est le meilleur moment pour le capteur et le plus bas en hiver.

Les capteurs sont généralement fixes et ne nécessitent aucun suivi du soleil. Le capteur doit être orienté directement vers l'équateur, face au sud dans l'hémisphère nord et au nord dans le sud.

L'angle d'inclinaison optimal du capteur est égal à la latitude de l'emplacement avec des variations d'angle de 10 à 15 ° plus ou moins selon l'application [8] :



**Figure (I.4) :** Un angle capteur plat (hiver-été)

### I.2.2. Application de capteurs solaires :

Les capteurs solaires sont utilisés pour :

- Chauffage et climatisation des habitations
- La distillation de l'eau
- La cuisson solaire.
- À des fins agricoles: séchage des céréales, des fruits, des légumes, de la viande, etc.
- Usage ménager: chauffer de petits séchoirs.

### I.3. Généralités sur le séchage :

Le séchage est une opération ayant pour un but d'éliminer par vaporisation le liquide qui contenu dans un solide. Le séchage par entraînement (Il s'agit d'un séchage à basse température) est Le mode de séchage le plus utilisé dans les pays en voie de développement et même dans les industries agro-alimentaires. Vu que les produits agro-alimentaires ont chacun une température maximale de séchage inférieure à 373°K, pour éviter la détérioration de toutes ces qualités gustatives. L'air chaud est le fluide caloporteur qu'utilisé pour assurer ce processus. En fonction de son pouvoir évaporatoire, il transmet sa chaleur sensible vers la matière séchée et reçoit ensuite l'humidité de cette dernière. Donc, on assiste à un phénomène simultané de transfert de chaleur et de masse (phénomène de thermo-diffusion). [9]

#### I.3.1. Méthodes de séchage :

Il existe de nombreuses méthodes et manières pouvant être utilisées pour le séchage:

##### I.3.1.1.Séchage en lit fluidisé :

Cette technologie consiste à mélanger de l'air et des particules solides afin que l'ensemble se comporte comme un fluide. Elle est principalement utilisée pour sécher des graines ou des matériaux granuleux. Cette méthode de séchage est la plupart du temps très rapide. En revanche, le produit traité est soumis à une température élevée qui peut le dénaturer.[10]

##### I.3.1.2. Lyophilisation :

La lyophilisation (cryodessiccation) est un procédé de conservation par dessiccation sous vide de produits congelés. La perte est eau est principalement obtenue en sublimant la glace sous pression réduite; il y a alors passage direct de l'état solide à l'état gazeux.[11]

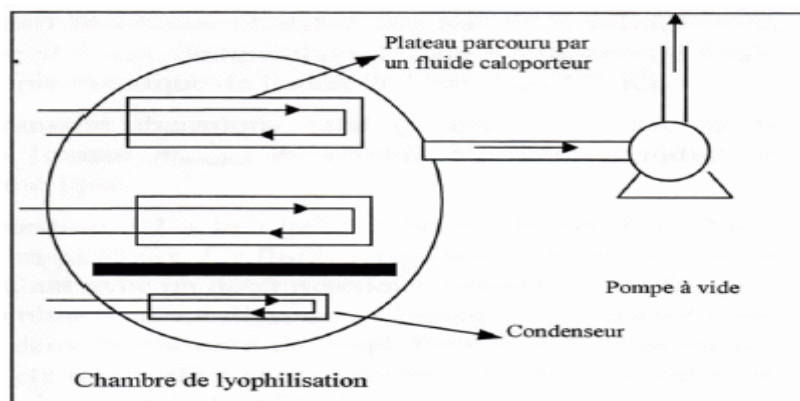
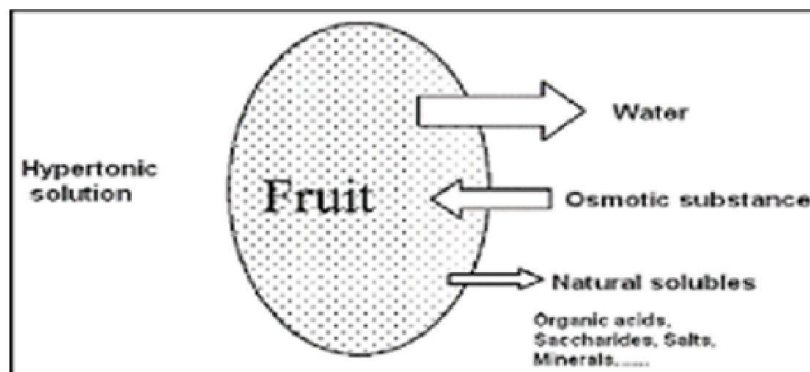


Figure (I.5): Schéma du lyophilisateur.

### I.3.1.3. Le Séchage Osmovac (déshydratation osmotique) :

Ce qu'on appelle déshydratation osmotique dans le domaine de la transformation des fruits et légumes, est un procédé de réduction de la teneur en eau obtenue par immersion de ces derniers, entiers ou en morceaux, dans une solution hypertonique de sucres et/ou saline.

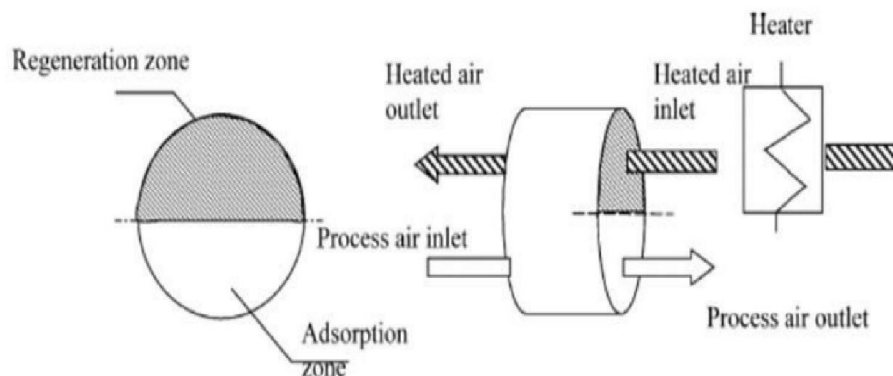
En principe, l'osmose décrit les mouvements de l'eau et des solutés qui se produisent quand deux solutions sont séparées par une membrane semi-perméable, en raison de la pression osmotique relative de chaque composant.[12]



**Figure (I-6):** Principale of the osmotique déshydrations.

### I.3.1.4. Séchage déshydratant :

C'est l'une des meilleures méthodes pour déshydrater l'air d'échappement pour la recirculation, si l'air d'échappement est encore chaud. Par conséquent, l'efficacité du système peut être améliorée. Le déshydratant peut être régénéré à l'aide de la chaleur solaire [17]



**Figure (I-7):**Un système de roue déshydratante pour l'application de séchage

## I.3.2. Applications du séchage solaire:

Les nombreuses applications de séchage solaire sont classées en deux catégories principales, à savoir agricoles et industrielles [6] :

### **I.3.2.1. Le séchage solaire agricole :**

Est un processus essentiel dans la préservation des cultures agricoles telles que le paddy, les graines oléagineuses, la carotte, les herbes et épices, et les légumes [6]

### **I.3.2.2. Le séchage solaire industrielle :**

De nombreux types de sècheurs peuvent être aptes à sécher un même produit . le choix devra être orienté en fonction des besoins propres à l'utilisateur.

Le produit proprement dit, par contre, du fait de ses caractéristiques physicochimiques et de son comportement au cours du séchage, devra être un élément essentiel du choix, le sècheur pouvant présenter des problèmes non pas de séchage à proprement parler, mais de détérioration ou de non conformité du produit du fait des effets secondaires générés par l'opération de séchage, détérioration par élévation excessive de température modifiant les 25 caractéristiques du produit par rapport à celles souhaitées, détérioration par oxydation indésirable du produit due à un temps de séchage trop long,[13]

## **I.3.3. Terminologie du séchage :**

### **I.3.3.1. Humidité :**

Ce terme désigne le liquide contenu dans le corps solide, liquide ou pâteux, et devant être éliminé au cours du séchage [14].

### **I.3.3.2. Taux d'humidité :**

C'est la masse de liquide contenue par unité de masse de matière à sécher. Bien qu'il soit fait très souvent référence à la matière humide, il est préférable d'exprimer le taux d'humidité par rapport à la matière anhydre[14].

### **I.3.3.3. Humidité absolue d'un solide :**

L'humidité autoritaire ou taux d'humidité ou teneur ( $\text{kg}_{\text{a,vap}}/\text{kg}_{\text{a,sec}}$ ) en eau à base sèche, où plus simplement humidité s'exprime par liquide contenue dans le produit par rapport à sa masse sèche[15]:

$$X = \frac{M_h}{M_s} = \frac{M_h - M_s}{M_s} \quad (\text{I-2})$$

**X** : Humidité absolue d'un solide [kg eau / kg (**M<sub>s</sub>**)].

**M<sub>h</sub>**: Masse humide de produit [kg].

**M<sub>s</sub>**: Masse sèche de produit [kg].

### **I.3.3.4. Humidité relative :**

L'humidité relative ou degré hygrométrique est le rapport de la pression partielle de la vapeur dans le mélange, à sa pression de saturation dans le même mélange, pris à la même température[16]:



$$X = \frac{M_h}{M_s} = \frac{M_h - M_s}{M_s} = Hr = \frac{P_v}{P_s(T)} 100 \quad (I-3)$$

### I.3.4. Effet des paramètres sur le séchage :

Les paramètres les plus importants, qui déterminent la qualité du produit séché, sont mentionnés ci-dessous [17] :

#### I.3.4.1. Température:

La température de séchage détermine principalement la qualité du produit séché. Une température de séchage élevée peut altérer la capacité de germination des graines et peut endommager le produit, une température de séchage plus basse peut entraîner un temps de séchage plus long, ce qui peut entraîner une contamination microbienne

#### I.3.4.2. Débit massique :

Le débit massique joue également un rôle important dans le processus de séchage. Le débit massique optimal est conçu en utilisant l'exigence de température et la vitesse maximale de l'air, qui peut être maintenue, à l'intérieur de la chambre de séchage [18]

#### I.3.4.3. Humidité relative de l'air :

L'humidité relative ou degré hygrométrique est le rapport de la pression partielle de la vapeur dans le mélange, à sa pression de saturation dans le même mélange, pris à la même température [19] :

$$Hr = \frac{P_v}{P_s(T)} 100 \quad 0\% < Hr < 100\% \quad (I-4)$$

#### I.3.4.4. Teneur en humidité du produit de séchage:

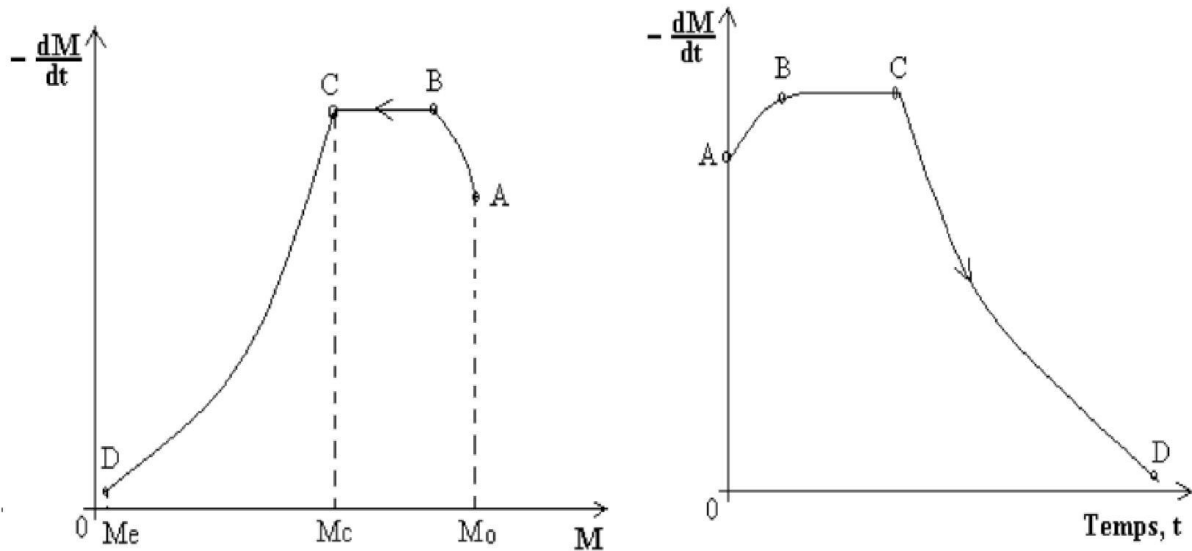
La teneur en humidité du produit à sécher est un facteur important pour déterminer la qualité du produit et donc la valeur marchande. Les produits ayant une teneur en humidité plus élevée s'avèrent avoir un temps de séchage inférieur à ceux ayant une teneur en humidité très inférieure [19]

### I.3.5. Vitesse de séchage :

La vitesse de séchage est définie comme le rapport entre la quantité d'eau évaporé de solide a séché par unité de temps et de masse de solide sec, ou toute simplement la limite du quotient de la différence de teneur "Δm" par l'intervalle de temps "Δt", c'est la grandeur qui caractérise pratiquement l'allure du transfert.

La vitesse de séchage est fonction de très nombreux paramètres dont les plus importants sont :

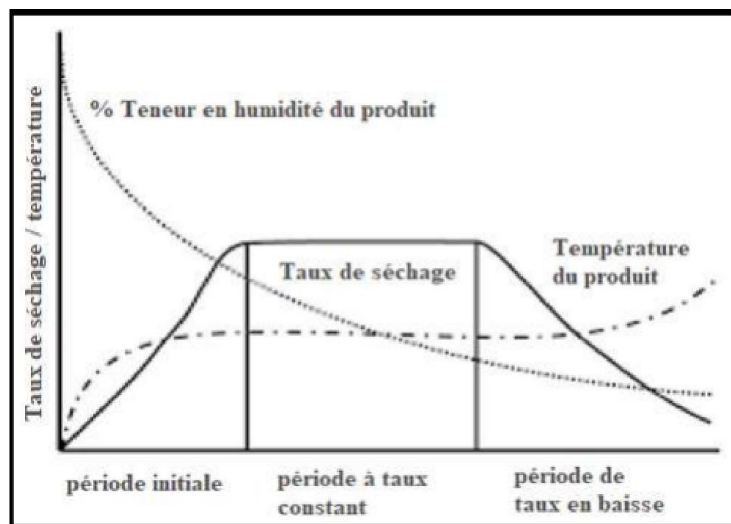
- La nature, la porosité, la forme et l'humidité du produit.
- La température, l'humidité et la vitesse du l'air. [1]



**Figure (I.8):** Vitesse de séchage  $-dM/dt=f(M)$     **Figure (I.9):** Vitesse de séchage  $-dM/dt=f(t)$

### 1.3.6. Périodes de taux de séchage :

Pour chaque produit, il existe des courbes représentatives qui décrivent les caractéristiques de séchage de ce produit à des conditions de température, de vitesse et de pression spécifiques. La figure (I-8) montre une courbe de séchage typique. Les variations de cette courbe se produiront principalement en vitesse relative par rapport à la vitesse et à la température du porteur [20]



**Figure (I.10):** courbes de séchage

- **La première phase:** période tarifaire initiale ou période tarifaire croissante.
- **La deuxième phase:** période à taux constant
- **La troisième phase:** période de baisse des taux

#### I.4. Classification des séchoirs solaires :

Il est difficile de classer l'équipement de séchage solaire d'une manière fiable, vu qu'il existe plusieurs configurations. Les séchoirs solaires sont classés selon leur mode de fonctionnement en deux grandes classes : les séchoirs solaires à convection naturelle, appelés aussi séchoirs passifs et séchoirs solaires à convection forcée, appelés séchoirs actifs [21].

Chaque mode (passif ou actif) se divise en cinq types, selon le mécanisme:

- Séchoirs solaires directs : Dans ce type, le produit à sécher est placé dans une enceinte, avec des couvercles transparents ou des panneaux latéraux. La chaleur est générée par l'absorption du rayonnement solaire sur le produit lui-même ainsi que sur les surfaces internes de la chambre de séchage. Cette chaleur évapore l'humidité du produit de séchage et favorise la circulation naturelle de l'air de séchage.

- Séchoirs solaires indirects : Dans ce type, l'air est d'abord chauffé dans un collecteur solaire avant le conduit dans la chambre de séchage.

- Séchoirs solaires mixtes : L'action combinée du rayonnement solaire directement sur le produit à sécher et l'air préchauffé dans le chauffe-air solaire fournit l'énergie nécessaire au séchage [22].

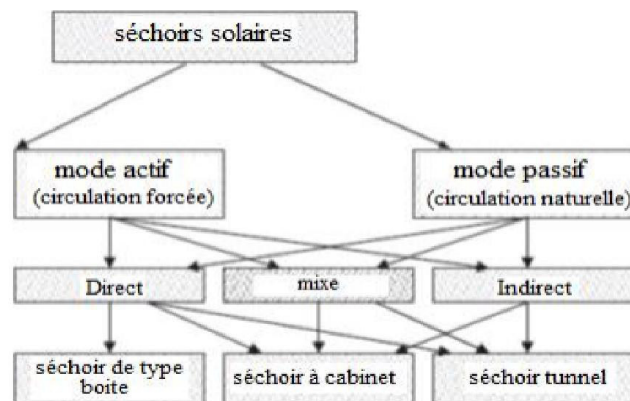
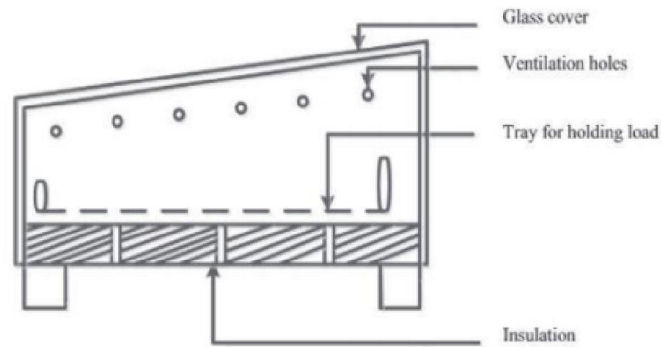


Figure (I-11): Classification des séchoirs solaires selon

##### I.4.1. Les séchoirs solaires directs :

Dans ce type de séchoirs, les rayons solaires frappent directement les produits. Le séchoir solaire direct se compose d'une seule pièce qui fait office à la fois d'une chambre de séchage et de collecteur solaire. Le fond de la chambre de séchage est peint en noir pour augmenter la capacité d'absorption de chaleur, une feuille de plastique ou polyéthylène transparent sert généralement de toit mais on peut également utiliser d'autres matériaux plus chers comme le verre ou les plastiques spéciaux (polyéthylènes agricoles). Néanmoins l'interaction directe « rayonnement solaire – produit » engendre la dégradation de la qualité du produit et la destruction des nutriments. [8]



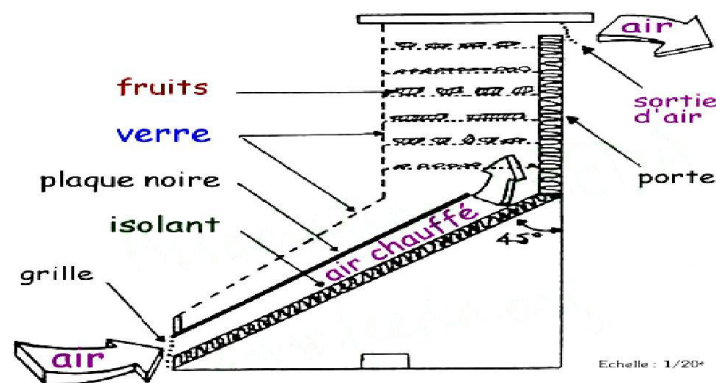
**Figure (I-12):** Illustration d'un séchoir solaire directe

#### I.4.2. Les séchoirs solaires indirects :

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

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

Le produit n'est pas exposé directement au soleil, il est même à l'abri de la lumière, ce qui autorise une meilleure préservation des qualités nutritionnelles de l'aliment. [8]



**Figure (I-13):**Séchoirs solaires indirects

**I.4.3. Les avantages et les inconvénients pour les différents systèmes de séchage solaire :**

Type de séchoir solaire	Les avantages	Les inconvénients
<b>Séchoir direct</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Meilleure protection contre les poussières, les insectes, les animaux et la pluie par rapport au séchage traditionnel [22].</li> <li>- Pas besoin de main-d'œuvre qualifié [22].</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Jaunissement des légumes verts [22].</li> <li>-Faible circulation de l'air qui limite la vitesse du séchage et augmente les risque de moisissure [22].</li> </ul>
<b>Séchoir indirect</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Température limitée (55°C)</li> <li>- Le produit conserve mieux sa couleur et sa valeur nutritionnelle (notamment les vitamines A et C)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Coût important [15].</li> <li>-Rapidité du séchage très variable suivant les conditions climatiques et la conception du séchoir [15].</li> </ul>

**I.5.Conclusion :**

Ce premier chapitre nous a permis de jeter un regard sur le séchage solaire comme l'une des applications les plus importantes des énergies renouvelables, car il s'appuie sur plusieurs méthodes ou techniques et de multiples outils pour y parvenir dans de bonnes conditions. Fondamentalement, le séchage solaire dépend de méthodes et de matériaux spéciaux selon les besoins pour atteindre ses objectifs nécessaires et pour assurer le processus de séchage de la meilleure façon.

## Référence

- [1] : N.Nadir, Recherche des conditions optimales de fonctionnement d'un séchoir solaire. Mémoire de magister, université Kasdi Merbah Ouargla(2009).
- [2] : Thirry Cabirol ,Albert Pelissou, Daniel Roux. "Le Chauffage de l'eau solaire", VEdisud.cop,1980
- [3 ] André Joffre. " Energie solaire thermique dans le bâtiment chauffe-eau solaires ".revue techniques de l'ingénieur BE 9164
- [4] : N, Bellel. Etude des transferts thermiques le long d'un tubecylindrique appliquée à deux géométries ; thèse de doctorat, Université de Constantine. (2004).
- [5] : Garg, H. P. Solar Energy Fundamentals and Applications: First Revised Edition, New Delhi, and Tata McGraw-Hill.(2000 ,1997).
- [ 6 ] : Aboltins, Aivars, et al. "Investigations of air solar collector efficiency." Proceedings of the 8th International Scientific Conference on Engineering for Rural Development Engineering for Rural Development. Vol. 1. 2009.
- [7] : AISSAOUI. W & SOUIADIA.H. " Etude expérimentale d'un capteur solaire plan à air" UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA (2019)
- [8] : Saf. A & Reddam.S. Technologies de séchage.Etude de cas: séchage de deux matrices végétales par étuve (2018).
- [9] : Lyes. B, Simulation numérique d'un séchoir solaire adaptation au climat local Magister, Université de Mentouri Constantine, Faculté des Sciences, Département de physique (2001).
- [10] :Micro-ondes et hautes fréquences. the-different-industrial-drying-technologies (2000)
- [11] : Thu Ha. N. Étude expérimentale et modélisation du procédé de séchage des végétaux (2016)
- [12] : NADIA. C. Techniques de l'ingénieur – génie des procédés Séchage Appareillage et choix d'un procédé (2017)
- [13] : TOUATI TLIBA. M& DRIHEM.B. Etude expérimentale du séchage solaire des plantes feuillues (2018)
- [14] H. Ben cheikch,M. Ould Sidimed et Y.Draoui, Conception et réalisation d'un séchoir solaire indirect opérant en mode convectif. Mémoire de l'ingénieur d'état.Université Kasdi Merbah –Ouargla. (juin 2011).
- [15] :W. Belachi, Application du séchage solaire pour la conservation des produits agroalimentaires. Mémoire de magister. Université Kasdi Merbah- Ouargla(2009).
- [16] : Aravindh, M. A"Solar drying—a sustainable way of food processing." Energy

sustainability through green energy. Springer. New Delhi. . (2015).

[17] : Mounir. B. Etudes expérimentales du séchage solaire par convection naturelle (2019)

[18] : Aymen. R. Étude d'un Séchoir solaire à convection forcée pour le séchage de la pomme de terre à Biskra (2018)

[19] : :Rahmanta MA, Felani MI. Application of Rotary Drum Dryer at Ombilin Coal Fired Power Plant. International Journal of Materials, Mechanics and Manufacturing, Vol. 3, No. 3, August 2015

[20] Bolaji BO. Development and performance evaluation of box-type absorber solar air collector for crop drying. Journal of Food Technology 2005.

[21] : Leon, M.A., Kumar, S., Bhattachaya, S.C. A comprehensive procedure for performance evaluation of solar dryers. Renewable & Sustainable Energy Reviews 6., 2002

[22] : BOUGHALI .S. Etude et optimisation du séchage solaire des produits agroalimentaires. Université Hadj-Lakhder. Batna. (2010).

# Chapitre II

Etude

Bibliographique

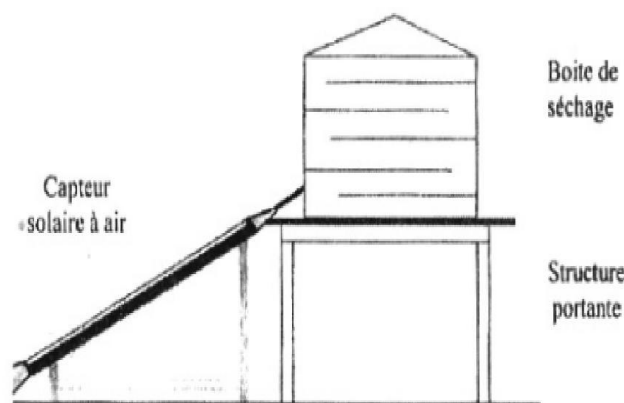


## II.1. Introduction:

Dans ce chapitre nous allons étudier le séchage solaire qui est un domaine très large. Pour cette raison, nous avons utilisé plusieurs études sur le séchage solaire. Ces applications varient sur différents domaines. Nous allons donc voir dans ce deuxième chapitre plusieurs articles et mémoires qui contiennent quelques-unes des précédentes études expérimentales sur le séchage solaire des produits agricoles et leurs différentes techniques et les équipements exploités sur cette opération.

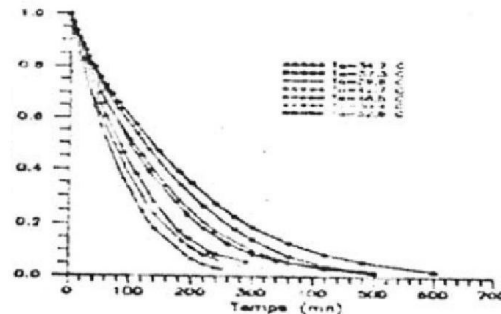
- **A. Boulemtafes et al [1] :**

A. Boulemtafes et D. Semmar réalisent un séchoir solaire indirect à vocation agricole, destiné au séchage des fruits et légumes. Le séchoir est constitué d'une boîte parallélépipédique haute d'un mètre. Il est alimenté en air chaud par un capteur solaire plan à air, incliné d'un angle égal à la latitude du site (Bouzaréah). L'air frais est d'abord capté de l'extérieur à l'aide de deux ventilateurs centrifuges aspirants, vers l'intérieur du capteur. Le contact air-absorbeur ainsi que le transfert convectif permettent d'élever la température à une valeur de consigne fixe. Ensuite, il arrive dans la boîte de séchage où se charge de l'humidité contenue dans le produit. Il compose à 1 m de hauteur et 0,7 m de largeur et 0,7 m de profondeur.



**Figure (II-1):** Schéma descriptif du dispositif

Les expériences étant en cours, produisent ici, à titre d'exemple les courbes caractéristiques de séchage de certains produits agro-alimentaires tels que : abricots, pommes, tomates, et peaux d'orange.



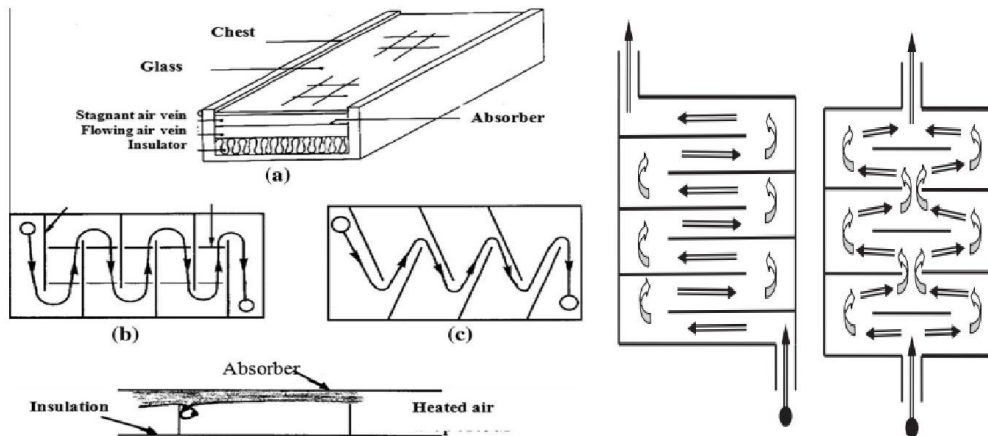
**Figure (II-2):** Evolution de la teneur en eau réduite en fonction du temps pour diverses températures de l'air. 'peaux d'oranges' ( $V_a=1,8\text{m/s}$ )

- **R. Slama.et al [2] :**

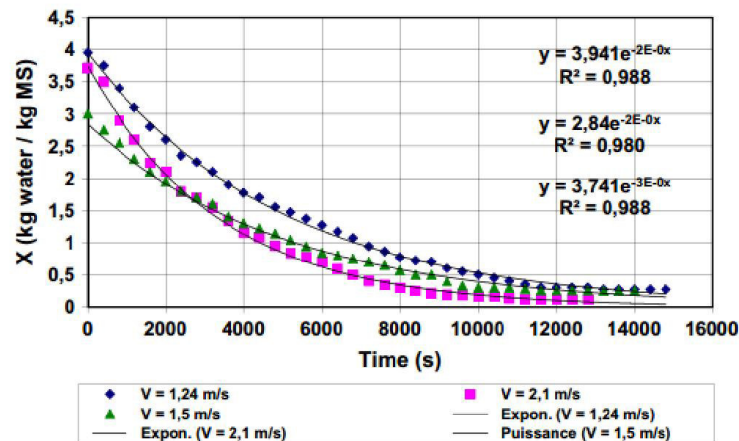
Ce travail présenté par R. Slama.et al , d'un séchoir solaire à mode indirect, L'air ambiant, qui entre par le bas du capteur, est chauffé par l'énergie solaire. Grâce aux chicanes, le transfert de chaleur est augmenté et l'air à la sortie du collecteur est à une température suffisamment élevée. Il passe ensuite dans la chambre de séchage, où il transfère la chaleur au produit à sécher et qui est chargé d'humidité Puis, il est évacué à l'extérieur par ventilation forcée assurée par un ventilateur électrique de faible puissance. Les mesures sont principalement liées à l'efficacité des seuls collecteurs d'une part et de l'ensemble du sécheur d'autre part. Nous mesurons la masse du produit à sécher au début et à la fin du test.



**Figure (II-3) :** Photographie du sécheur indirect



**Figure (II-4):** Détail du capteur solaire d'air montrant: (a) sa composition, (b) les chicanes droites, (c) les chicanes obliques, et (d) les flux générés.



**Figure (II-5):** Teneur en eau fonction du temps et de la vitesse de l'air

- **N. Chala et al [3]:**

Le but de ce travail est de prédire le comportement d'un séchoir qui fonctionne dans les deux modes, direct et indirect avec une étude de l'influence des paramètres extérieurs de séchage et des paramètres du séchoir. Ce dernier ressemble à une cage d'escalier. Sa face supérieure est constituée d'une feuille transparente en polycarbonate laissant passer le rayonnement solaire. Les dimensions du séchoir sont modérées, il contient trois claies avec une capacité de l'ordre de 30 kg. Le système solaire 'séchoir -collecteur', est posé dans une direction nord-sud comme il est incliné d'un angle de  $30^\circ$  par rapport à l'horizontal. Il est important de noter qu'on ne doit pas dépasser la température de  $65^\circ\text{C}$  pour éviter la détérioration du produit et que le volume d'air doit être suffisant pour permettre le transfert de l'humidité à l'extérieur du séchoir.

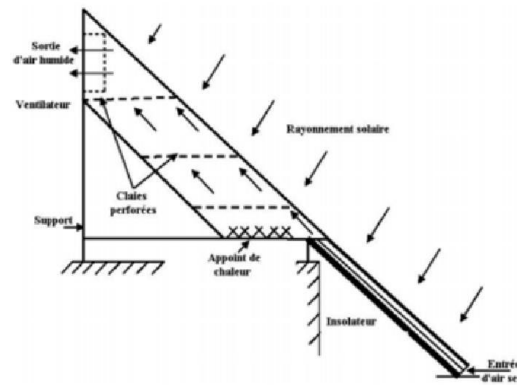


Figure (II-6): Vue latérale du système (séchoir - capteur)

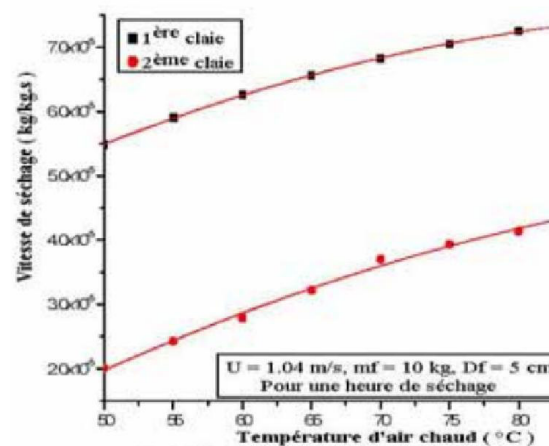


Figure (II-7) : Influence de la température d'entrée de l'air chaud sur la vitesse de séchage

- **Shahrbanou Shamekhi-Amiria et al [4] :**

Le but de cette étude était d'étudier le comportement de séchage en couche mince des feuilles de mélisse dans un séchoir solaire à mode indirect avec convection forcée, en utilisant un aérotherme solaire avec un lit garni à double passage de configuration de couche de treillis métallique pour améliorer l'énergie. gain de l'air chauffé.

Leurs expériences de séchage ont été effectuées pour des feuilles de mélisse avec une teneur en humidité initiale de 80% sur une base humide jusqu'à une teneur en humidité finale de 10%. Ils ont également testé un modèle mathématique pour trouver le meilleur modèle de couche mince pour décrire le comportement de séchage des feuilles de mélisse.



Figure (II-8): Photo du séchoir solaire testé.

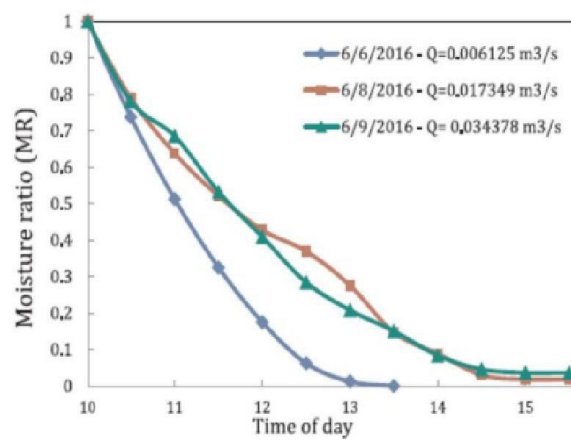


Figure (II-9): Variation du taux d'humidité en fonction du temps de séchage représenté à divers débits d'air à différents jours

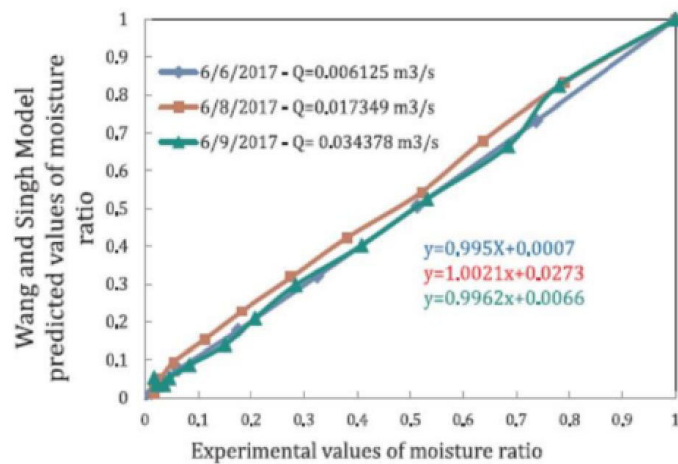


Figure (II-10): Comparaison entre les taux d'humidité expérimentaux et ceux prédits pour Lemon blam calculés à l'aide du modèle wang et singh.

- **S.semwanga Mohammed [5]:**

Cette étude a examiné l'effet des méthodes traditionnelles et améliorées le séchage solaire sur la qualité sensorielle et la composition nutritionnelle des produits à base de fruits secs; en utilisant des mangues et des ananas, comme étude de cas. Les fruits ont été séchés selon cinq méthodes de séchage solaire à savoir; séchage au soleil ouvert (OSD), abat-jour en tissu noir (BCS), abat-jour en toile blanche (WCS), un séchoir solaire conventionnel (CSD) et une technologie de séchoir solaire nouvellement améliorée (ISD). L'unité ISD était constituée d'une plaque de concentrateur solaire modifiée contenant plusieurs capteurs solaires métalliques disposés en série. L'armoire de séchage ISD était également entourée de matériaux de couverture de serre spécialisés. Les opérations de séchage ont été menées selon une procédure expérimentale entièrement randomisée (CRD).

Les résultats ont montré que les cinq méthodes de séchage solaire étaient capables de conserver la qualité sensorielle et la composition nutritionnelle de la mangue séchée et des ananas. Les paramètres nutritionnels retenus étaient les teneurs immédiates et minérales. Les paramètres de qualité sensorielle étaient le goût, l'arôme, la couleur et l'acceptabilité des produits de fruits secs. Cependant, la qualité sensorielle et le contenu nutritionnel des produits à base de fruits séchés selon la méthode ISD étaient supérieurs à ceux des produits séchés selon la méthode CSD, ce qui suggère une amélioration capacité et rôle supérieur de la technologie de séchage ISD dans le traitement des fruits.



**Figure (II-11) :** Les quatre méthodes traditionnelles de séchage solaire et le sécheur solaire amélioré proposé. a) la méthode du séchoir solaire conventionnel (CSD), b) les méthodes du store en tissu blanc (WCS) et du store en tissu noir (BCS), c) la méthode du séchoir solaire amélioré (ISD), et d) le séchage traditionnel à ciel ouvert (OSD) méthode.

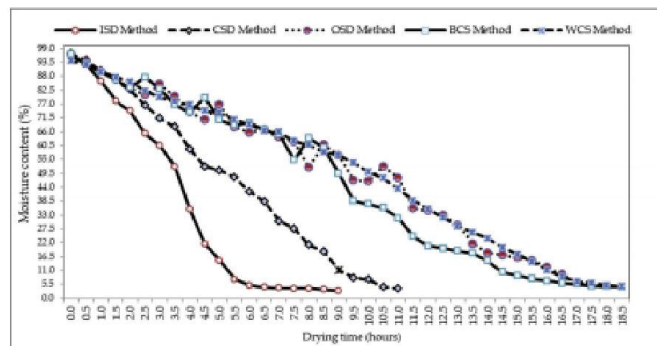




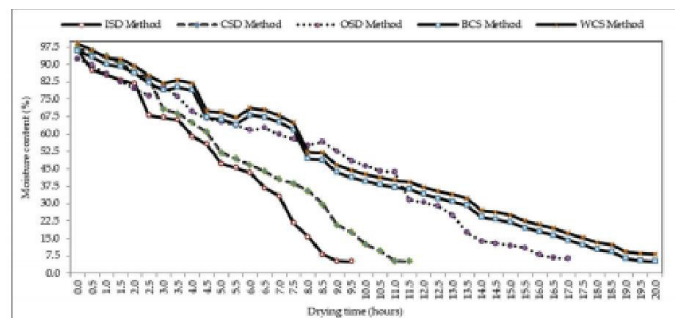
**Figure (II-12):** Le nouveau séchoir solaire amélioré (ISD) proposé pour les fruits tropicaux



**Figure (II-13) :** Images des échantillons de fruits frais et secs (mangue et ananas). Images d'ananas frais (a), tranchés (b) et séchés (c) (cv. Cayenne lisse); Images de mangues fraîches (d), tranchées (e) et séchées (f) .



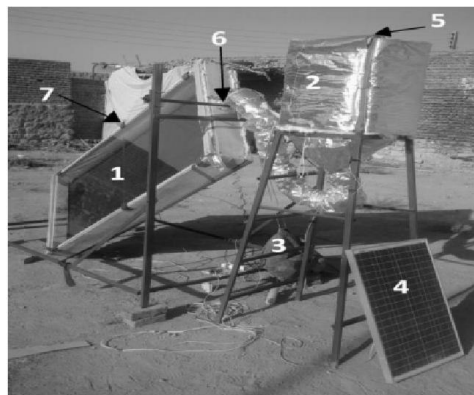
**Figure (II-14) :** Variation de la teneur en humidité avec le temps de séchage des tranches de mangue séchées selon les méthodes de séchage solaire (OSD, BCS, WCS, CSD et ISD) au NMAIST, Tanzanie.



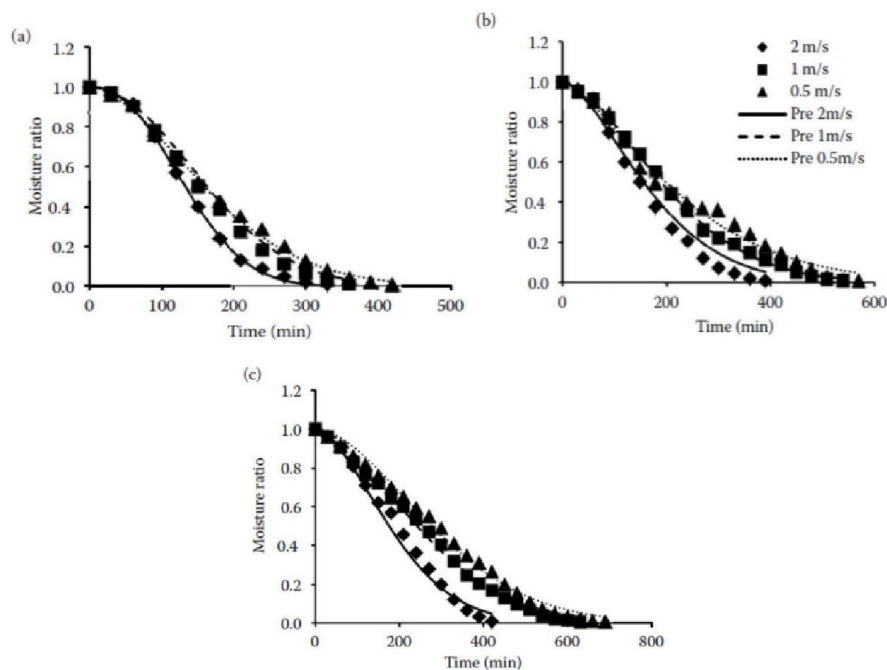
**Figure (II-15) :** Variations moyennes de la teneur en humidité des ananas avec le temps de séchage.

- **H. Samimi. Akhijani et al [6]:**

Dans ce travail présenté, une modélisation mathématique et la diffusivité effective de l'humidité de la tomate ont été étudiées pendant le séchage solaire à air chaud. Des expériences de séchage ont été réalisées dans une couche mince à chaud séchage à l'air à des épaisseurs de tranche de 3, 5 et 7 mm et des vitesses de l'air de 0,5, 1 et 2 m / s. Les données expérimentales ont été ajustées à différents modèles mathématiques de taux d'humidité et le modèle de Page a été sélectionné comme le meilleur modèle. Les valeurs maximales de diffusivité de l'humidité étaient de  $6,98 \times 10^{-9} \text{ m}^2 / \text{s}$  à une vitesse de l'air de 2 m / s et une épaisseur de tranche de 7 mm, tandis que la valeur minimale de la diffusivité de l'humidité était de  $1,58 \times 10^{-9} \text{ m}^2 / \text{s}$  à une vitesse de l'air de 0,5 m / s et tranche épaisseur de 3 mm.



**Figure (II-16) :** L'échelle laboratoire du séchoir solaire pivotant

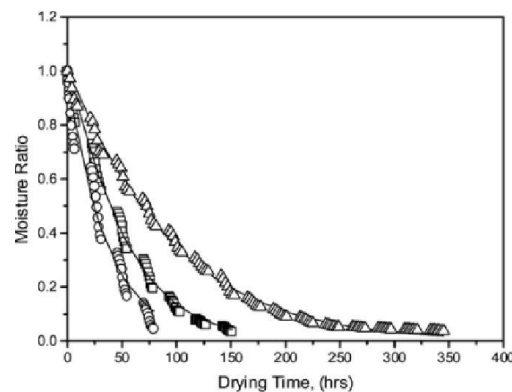


**Figure (II-17):** séchage de tranche de tomate 3, 5 et 7 mm

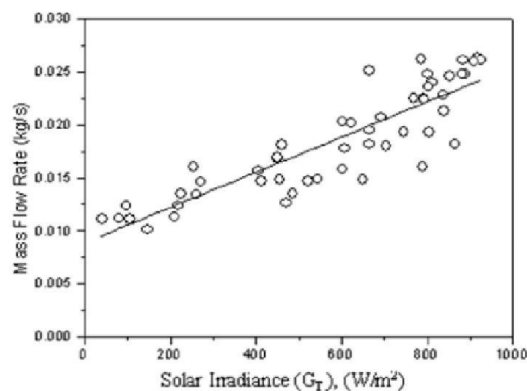


**D.R. Pangavhane et al [7]:**

Dans cette étude, les raisins ont été séchés avec succès dans le séchoir solaire à convection naturelle développé, qui se compose d'un réchauffeur d'air solaire et d'une chambre de séchage. Ce système peut être utilisé pour sécher divers produits agricoles comme les fruits et légumes. L'analyse qualitative a montré que le séchage traditionnel, le séchage à l'ombre et le séchage au soleil à ciel ouvert séchaient les raisins en 15 et 7 jours respectivement, tandis que le séchoir solaire ne prenait que 4 jours et produisait des raisins de meilleure qualité raisins.



**Figure (II-18) :** Variation du taux d'humidité avec séchage



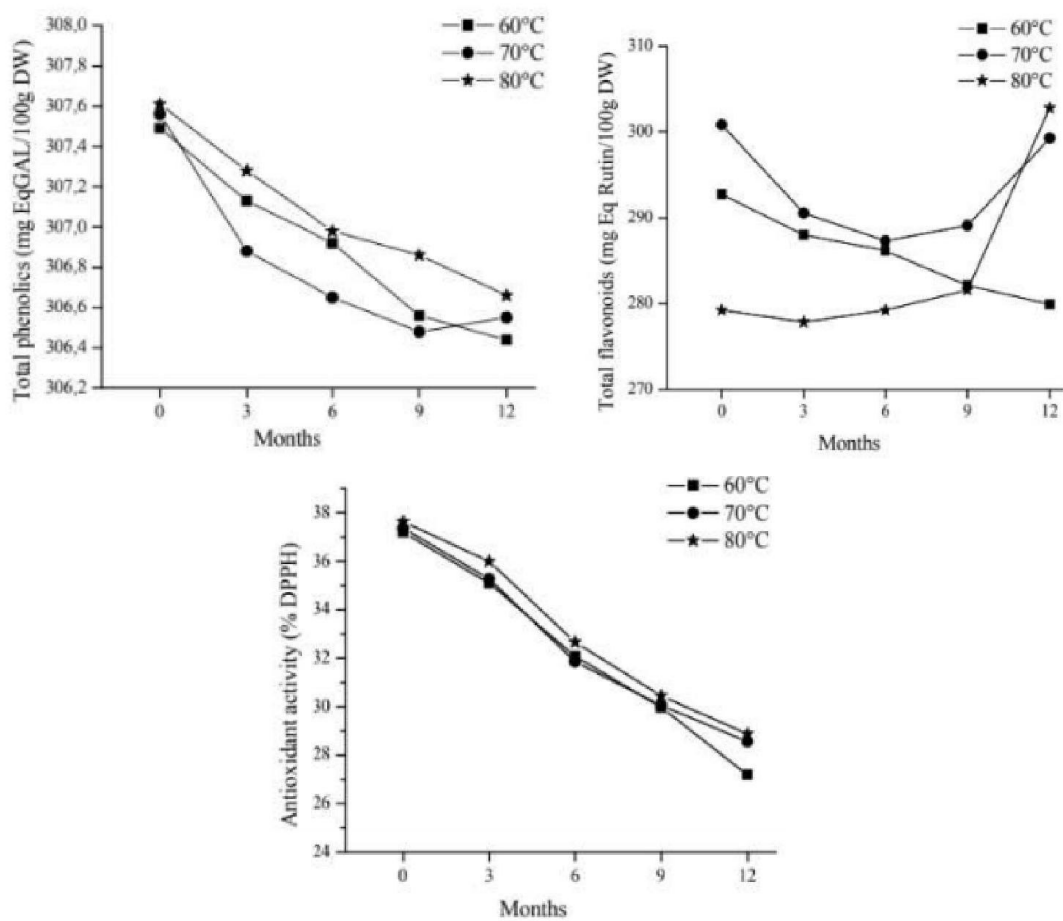
**Figure (II-19) :** Variation du débit massique de l'air de séchage avec l'irradiance solaire (GT.)

- **Rachida Ouaabou et al [8]:**

Cette étude a été réalisée pour étudier l'efficacité du système de séchoir à convection solaire indirect en déterminant les différentes caractéristiques du séchoir et pour évaluer les effets du séchage et de la période de stockage sur la qualité des fruits. Les cerises douces du cultivar "Burlat" ont été séchées à 60, 70 et 80 ° C, puis stockées pendant un an et analysées pour les phénoliques totaux, l'activité antioxydant, les flavonoïdes totaux et les anthocyanes totales. La consommation totale d'énergie et l'énergie électrique spécifique de la cerise séchée ont montré une tendance à la baisse avec l'augmentation de la température. Le modèle Midilli – Kucuk était le modèle le mieux adapté pour sécher la cerise.



**Figure (II-20):** Schéma de la configuration expérimentale.



**Figure (II-21):** Changements dans les niveaux de composés bioactifs dans la cerise séchée en fonction de la température de séchage et de la période de stockage.

- S. E. mokretar et al [9] :

À travers ce travail expérimental, ils ont proposé d'étudier et de déterminer expérimentalement le coefficient de diffusivité massique lors du séchage solaire direct des prunes d'Agen. Utilisant un séchoir solaire de type direct fonctionnant en convection naturelle (conditions aérothermiques non contrôlées), les campagnes de mesures ont été menées en milieu naturel, par vent calme, durant la période estivale (mois d'Aout). Les résultats obtenus nous ont permis de tracer la cinétique de séchage des prunes. La solution de l'équation de Fick et l'exploitation des résultats expérimentaux par la méthode des pentes nous a permis de déterminer le coefficient de diffusivité massique moyen au cours du processus de séchage. L'effet de la température sur la diffusivité est décrit par une relation de type Arrhenius. L'analyse des résultats obtenus montre l'influence de la teneur en eau du produit et de sa température sur le coefficient de diffusion massique. Les valeurs obtenues varient entre  $2 \times 10^{-11}$  et  $5 \times 10^{-10}$  m<sup>2</sup>/s pour le coefficient de diffusivité massique et de 43.67 et 67.66 KJ/mole pour l'énergie d'activation. Des courbes traduisant la cinétique de séchage des prunes et l'évolution temporelle des paramètres physiques mesurés (Rayonnement solaire global, Températures) sont tracées.



Figure (II-22) : Séchoir expérimental

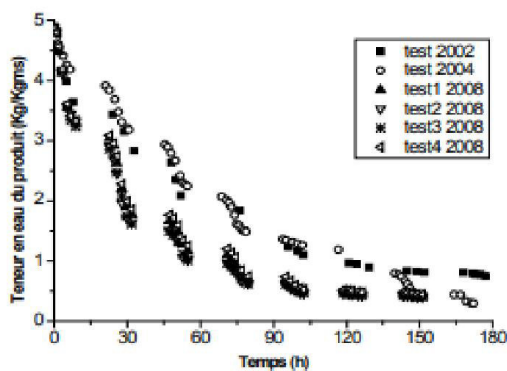


Figure (II-23) : Evolution de la teneur en eau des prunes séchage

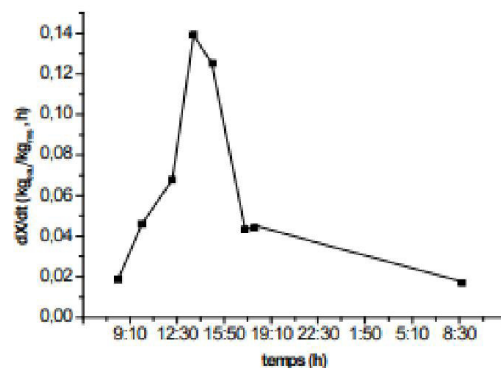


Figure (II-24) : vitesse journalière des prunes au cours du séchage

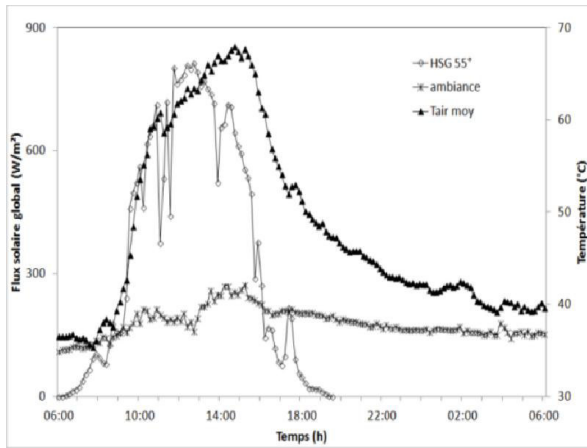


Figure (II-25) : Evolution journalière de la température flux solaire global

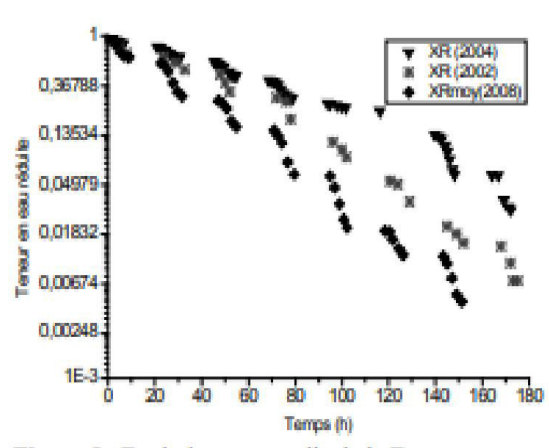


Figure (II-26) : Evolution et du temporelle de la Teneur en eau réduite

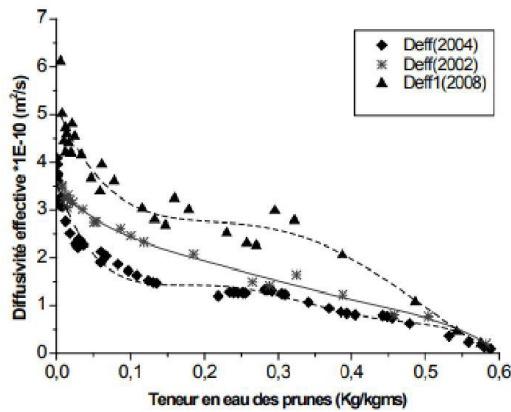


Figure (II-27) : Evolution de la diffusivité effective en fonction de la teneur en eau des prunes

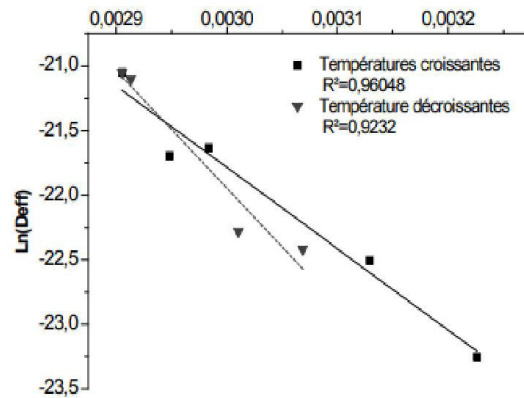


Figure (II-28) : diffusivité effective durant la 3<sup>ème</sup> journée de séchage (test 2004)

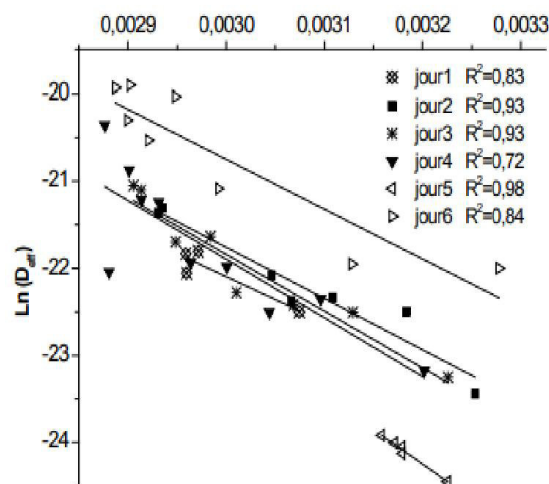


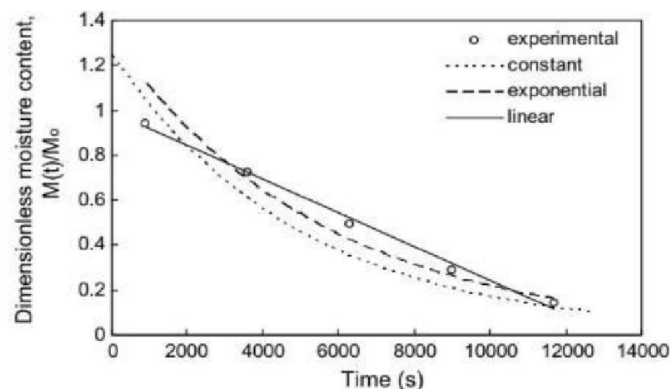
Figure (II-29) : diffusivité effective journalière en fonction de la température (test 2004)

- **P.P. Tripathy [10]:**

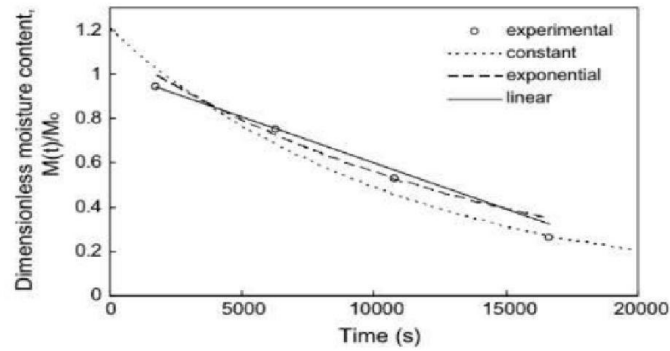
Dans le présent travail, un séchoir solaire à mode mixte à l'échelle du laboratoire a été utilisé pour effectuer des expériences de séchage par convection naturelle avec des cylindres de pomme de terre de longueur 0,05 m et de diamètre 0,01 m et des tranches de diamètre 0,05 m et d'épaisseur 0,01 m. La présente analyse révèle que la constante de séchage et le facteur de retard augmentent avec la température de l'échantillon, comme prévu. Des corrélations linéaires et exponentielles pour ces paramètres sont proposées pour représenter leur variation en fonction de la température de l'échantillon. Les résultats de l'analyse des erreurs statistiques indiquent que la corrélation linéaire proposée peut mieux représenter les courbes cinétiques de séchage expérimentales pour les cylindres et les tranches. La comparaison des teneurs en eau sans dimension expérimentales avec celles calculées avec des valeurs variables (dépendant de la température) et constantes des paramètres de séchage montre que les résultats prévus des paramètres variables peuvent mieux simuler les expériences.



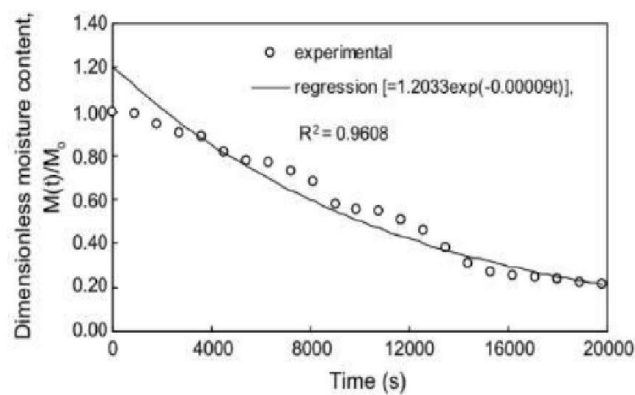
**Figure (II-30) :** Installation expérimentale pour le séchage solaire en mode mixte par convection naturelle.



**Figure (II-31) :** Comparaison entre les teneurs en humidité dimensionnelles expérimentales et calculées obtenues en utilisant des paramètres de séchage variables et constants pour les cylindres de pomme de terre.



**Figure (II-32) :** Comparaison entre les teneurs en eau dimensionnelles expérimentales et calculées obtenues en utilisant des paramètres de séchage variables et constants pour les tranches de pomme de terre.



**Figure (II-33) :** Distribution mesurée et prédite de la teneur en humidité sans dimension obtenue en utilisant des paramètres de séchage constants pour les tranches de pomme de terre.

### II.3. Conclusion :

Dans ce chapitre après avoir lu les articles qui ont été fait sur le séchage solaire sur les produit agricoles , on a put constater que les chercheurs ont essayer d'améliorer la production, ils dépendent également de plusieurs modèles mathématiques pour comparer leurs études et pour avoir une meilleurs qualité et diminuer le temps de séchage.

# Référence

- [1] **A. Boulemtafes et al** " Conception et Réalisation d'un Séchoir Solaire Indirect ", Energies Renouvelables (1999) : 97-100
- [2] : **R. Slama.et al** : "Study of orange peels dryings kinetics and development of a solar dryer by forced convection", Solar Energy 85 (2011) 570–578
- [3] :**N. chala et al** : " Etude d'un séchoir solaire fonctionnant en mode direct et indirect" Revue des Energies Renouvelables SMSTS'08 Alger (2008) 117 – 126
- [4] : **Shamekhi-Amiri, Shahrbanou, et al.** "Drying behaviour of lemon balm leaves in an indirect double pass packed bed forced convection solar dryer system." Case studies in thermal engineering 12 (2018): 677-686.
- [5] : **Ssemwanga Mohammed** "The effect of traditional and improved solar drying methods on the sensory quality and nutritional composition of fruits: A case of mangoes and pineapples ",Heliyon 6 (2020) e04163
- [6] : Akhijani, H. Samimi, A. Arabhosseini, and M. H. Kianmehr. "Effective moisture diffusivity during hot air solar drying of tomato slices." Research in Agricultural Engineering 62.1 (2016): 15-23.
- [7]: Pangavhane, Dilip R., R. L. Sawhney, and P. N. Sarsavadia. "Design, development and performance testing of a new natural convection solar dryer." Energy 27.6 (2002): 579-590.
- [8]: Rachida, O., Nabil, B., Ouhammou, M., Idlimam, A., Lamharrar, A., Ennahli, S., et al. (2019). Impact of solar drying process on drying kinetics, and on bioactive profile of Moroccan sweet cherry. Journal Pre-proof .
- [9] : Soffiane .E. M , Ali. B et Belkacem. Z. "Détermination expérimentale de la diffusivité massique lors du séchage solaire des prunes en convection naturelle"des Energies Renouvelables .(2015)
- [10] : Tripathy, P. P. "Modeling of heat transfer and energy analysis of potato slices and cylinders during solar drying." Applied Thermal Engineering. 29.5-6. (2009), 884-891.
- [11] : M. MARTIN, P. PERREF et M. MOSER. La perte de température a travers la charge: intérêt pour le pilotage d'un séchoir bois h haute température.0017-9310(94) 00216-9

# Chapitre III

Etude

Expérimentale

Et théorique



### III.1.Introduction :

Le séchage solaire est l'un des procédés qui a trouvé une application en Algérie, en raison des quantités importantes d'irradiations solaires qui peuvent être exploitées dans ce pays, et le but principal de ce procédé est de conserver les produits agricoles pour les utiliser à tout moment.

Ce chapitre a pour objectif de décrire le comportement de séchage solaire de certains produits agricoles en utilisant un séchoir solaire indirect, conçu et construit précédemment. De plus, des modèles mathématiques ont été utilisés pour décrire cette opération sur la base des données de l'expérience.

### III.2. Localisation des expériences et climat de zone:

#### III.2 .1 Lieu des expériences:

Les expériences ont été réalisées près du hall technologique du département de génie mécanique de l'université de Biskra, qui est situé à  $34^{\circ} 48'$  de latitude et  $5^{\circ} 44'$  de longitude, dans le sud-est de l'Algérie avec 120 m d'altitude par rapport à la niveau de la mer, la ville se situe à environ 400 km d'Alger.



Figure (III-1): Image satellite de la zone d'expérience.

#### III.2.2 Climat zone expérimentale [1]:

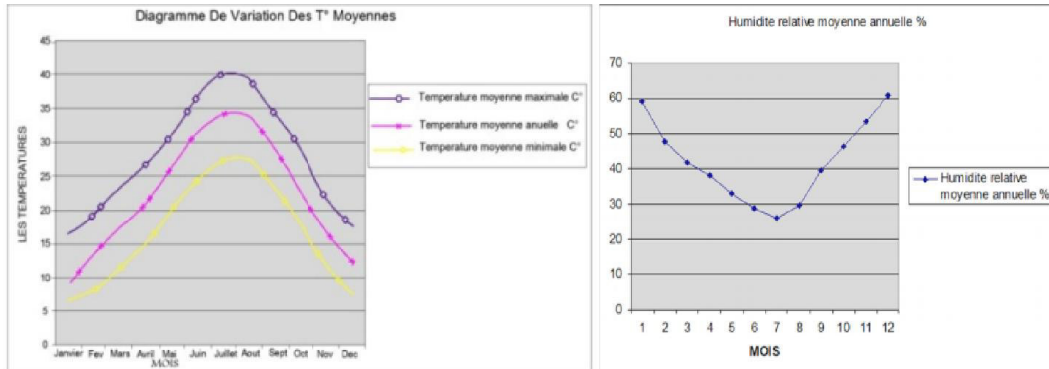
La ville de Biskra est située dans une oasis fertile au sud-ouest du massif de l'Aurès. Biskra est un centre de commerce pour les nomades de la région. La culture des fruits (dattes, olives, abricots et grenades) représente une activité dominante. Son climat doux en a fait une station thermale populaire. Biskra se situe au sud-est de l'Algérie.

##### • température de l'air :

La température moyenne annuelle est de  $16,20^{\circ}\text{C}$ , avec  $34,41^{\circ}\text{C}$  en juillet pour le mois le plus chaud et  $8,28^{\circ}\text{C}$  en janvier pour le mois le plus froid. La courbe des températures moyennes mensuelles évolue d'une manière régulière

- **humidité relative :**

La courbe de l'humidité relative décroît dans le sens inverse de celle des températures et des radiations solaires. Les moyennes mensuelles ne dépassent pas 60% pour les périodes humides, ce qui laisse penser à un climat hivernal froid et sec.



**Figure (III-2):** Courbes de température et d'humidité relative de Biskra

### III.3. Étude expérimentale:

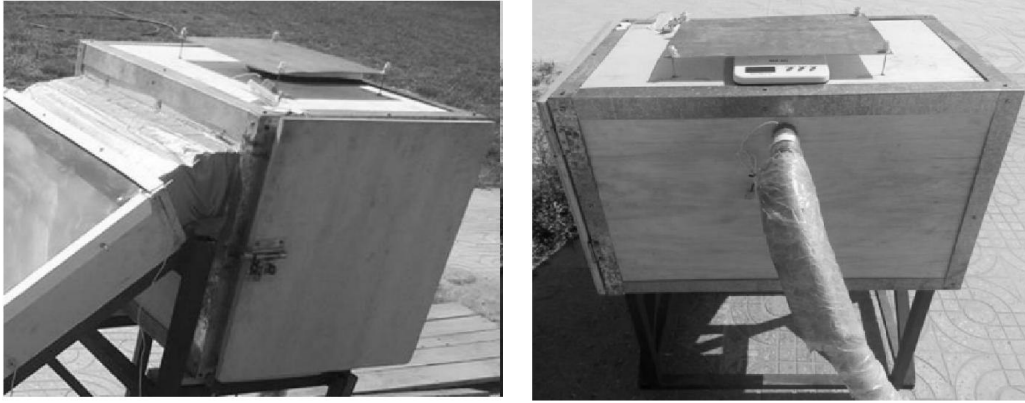
Dans cette étude, nous sommes concentrés sur le séchage d'un produit agricole (orange), à l'aide d'un capteur solaire et d'une salle de séchage, qui avait été conçu et créé précédemment dans le hall technologique du département de génie mécanique de l'Université de Biskra, qui a été mené de mars à avril 2020.



**Figure (III-3):** Configuration expérimentale (capteur solaire avec chambre de séchage).

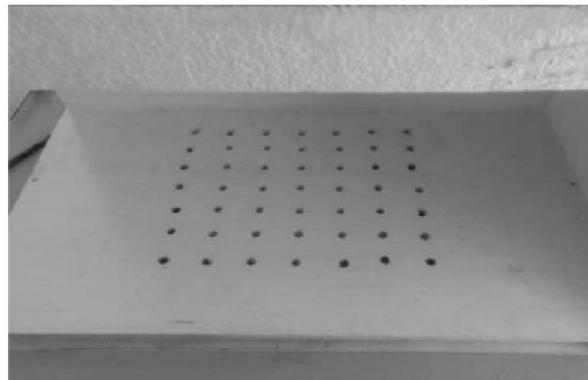
#### III.3 .1 Fabrication de la chambre de séchage:

La chambre est en bois de plusieurs types, protégée de tous les côtés avec une isolation de bonne qualité. Connectez-vous au panneau solaire par un tuyau qui fait passer l'air à travers les trous pour distribuer cet air sur le produit séché; ses dimensions sont de 80 cm x 50 cm x 50 cm.



**Figure (III-4):** Configuration expérimentale de la chambre de séchage.

- **Orifices:** Nous avons percé des trous afin de répartir l'air sur le produit et éviter de le brûler. Dans notre cas, nous mettons des trous de 10 mm de diamètre dans une planche carrée, 30 cm par 30 cm



**Figure (III-5):** Orifices dans la chambre de séchage.

- **La grille:** est un support sur lequel le produit est disposé, avec des trous pour l'élimination de l'eau, fixés par quatre tiges équilibrées pour nous permettre de peser le produit sans le retirer, voir Fig. (III-6). Cette grille se caractérise par sa dureté et sa résistance à la rouille.



**Figure (III-6):** Support du produit de séchage.

### III.3.3. Experimental Procédure:

A l'Université de Biskra au cours du mois de mars et avril 2021 entre 08h00 et 16h00 on a enregistré des observations expérimentales. Trois tailles différentes de couche d'orange, telles que 3, 5 et 7mm, on a fait une expérience avec et sans chicane, qui ont été placées sur une plaque de maille de fil de forme rectangulaire, utilisée pour accueillir différentes masses de nos échantillons. Ces plaques ont été prises sur la machine d'équilibre électronique numérique pour déterminer l'élimination de la teneur en humidité pour chaque demi-heure de séchage.

Sur la première expérience on a utilisé un capteur solaire (voir la figure III-7), pour la deuxième expérience on a utilisé un capteur solaire avec chicane (voir la figure III-8) on a mis une distance de 21.5cm entre les 4 chicanes



**Figure (III-7):** capteur solaire avec chambre de séchage sans chicane



**Figure (III-8):** capteur solaire a chambre de séchage avec chicane



**Figure (III-9):** Une balance électronique numérique.

Contrôleur (TPM-10), (voir la figure III-10), a été placé dans la position de sortie d'air chaude dans la salle de séchage pour mesurer la température et l'humidité



**Figure (III-10):** Un thermomètre-contrôle (modèle TPM-10).

La température a été mesurée à l'aide de thermocouples calibrés de type K comme indiqué sur la figure (III-11), à différents endroits, qui sont la température d'entrée du sécheur, la température de surface du produit, la température d'entrée et de sortie de la chambre de séchage, l'entrée du capteur solaire, la température de sortie et la température de la plaque absorbante du collecteur.



**Figure (III-11):** A thermocouples de type k.

Un hygromètre (modèle PCE-555) utilisé pour mesurer l'humidité relative de l'extérieur.



**Figure (III-12):** Hygromètre (modèle PCE-555).



Un parano mètre (modèle Volt raft PL-110SM) appareil robuste et facile à utiliser pour mesurer l'intensité du rayonnement solaire par unité de  $W / m^2$  comme le montre la figure (III-13).



**Figure (III-13):** parano mètre

Un anémomètre numérique (modèle KIMO-LVA) voir figure (III-14), ayant une lisibilité de 0,01 m / s, a été utilisé pour mesurer la vitesse du vent.



**Figure (III-14):** Un anémomètre numérique (modèle KIMO-LVA)

Le régulateur de tension (AC 220V 4000W) voir la figure (III -13) a été utilisé pour régler la tension du moteur électrique 4000W 220V régulateur de tension SCR et le contrôle de la vitesse du moteur électrique.



**Figure (III-15):** Voltage régulateur (AC 220V 4000W).

Le Moteur d'aspiration d'air qui permet au flux forcé de convertir la température chaude dans la chambre de séchage vers l'extérieur.



**Figure (III-16):** Représente de Moteur d'aspiration d'air.

Chaque matin a 5<sup>h</sup>00 on coupe en tranche les oranges pour garder l'humidité de celles-ci, cet opération était très difficile parce que l'orange est molle.

A chaque période de 30 minutes des notes expérimentales ont été enregistrées . La mesure s'est arrêtée lorsque la masse fixe des échantillons a été achevée. La différence de masse a directement donné la quantité de teneur en eau évaporée pendant n'importe quelle période de temps Le diamètre du produit (orange) est de 8 cm et les épaisseurs 3 , 5 et 7mm, on a fait les mesures deux fois : avec chicane et sans chicane ,le débit d'air est de 0.019,0.024,0.033 kg/s.

- les figures suivantes démontrent les oranges séchées après et avant le séchage solaire sans chicane :



**Figure (III-17):** Tranches de orange humides et séchées sans chicanes de 3 mm d'épaisseur, 80mm de diamètre, le débit 0,019 Kg /s



**Figure (III-18):** Tranches de orange humides et séchées sans chicanes de 5 mm d'épaisseur, 80mm de diamètre, le débit 0,019 Kg /s



**Figure (III-19):** Tranches de orange humides et séchées sans chicanes de 7 mm d'épaisseur, 80mm de diamètre, le débit 0,024 Kg /s

- les figures suivantes démontrent les oranges séchées après et avant le séchage solaire avec chicane :



**Figure (III-20):** Tranches de orange humides et séchées avec chicanes de 3 mm d'épaisseur, 80mm de diamètre, le débit 0,019 Kg /s





**Figure (III-21):** Tranches de orange humides et séchées avec chicanes de 5mm d'épaisseur, 80mm de diamètre, le débit 0,019 Kg /s



**Figure (III-22):** Tranches de orange humides et séchées avec chicanes de 7mm d'épaisseur, 80mm de diamètre, le débit 0,019 Kg /s

#### III.4. Etude théorique:

Certains modèles sélectionnés de séchage en couches minces de fruits et légumes sont présentés dans (le tableau-1). Ces modèles sont souvent utilisés pour décrire le séchage des fruits et légumes et peuvent être classés en 3 groupes en fonction de leurs avantages et inconvénients comparatifs et aussi leur dérivation. Ce sont des modèles théoriques, semi-théoriques et empiriques. Les catégories de modèles à couches minces les plus largement appliquées sont les modèles semi-théoriques et empiriques. Ces catégories de modèles prennent en compte la résistance externe au processus de transport d'humidité entre le matériau et l'air atmosphérique, fournissent une plus grande étendue de résultats précis, donnent une meilleure prédiction des comportements et font moins d'hypothèses en raison de leur recours à des données expérimentales. Ainsi, ces modèles se sont révélés être les plus utiles pour les ingénieurs et les concepteurs de séchoirs.[3]

**Tableau (III-1):** Modèles à couches minces pour le séchage des fruits et légumes.

Nom du modèle	Equation	Référence
Newton	$MR = \exp(-kt)$	El-Beltagy et al (2007)
Page	$MR = \exp(-kt^n)$	Akoy (2014) ; Tzempelikos Et al (2014)
Henderson and Pabis	$MR = a \exp(-kt) + b \exp(-gt) + c \exp(-ht)$	Zenoozian et al (2008)
Midlli et al	$MR = a \exp(-kt) + bt$	Davishi et Hazbavi (2012) ; Ayadi et al. (2014)
Logarithmic	$MR = a \exp(-kt) + c$	Rayaguru et Routray (2012);Kaur et Singh(2014)
Two-term exponential	$MR = a \exp(k_0 t) + (1-a)\exp(-k_1 at)$	Dash et al. (2013)
Demir eet al	$MR = a \exp(-kt)^{n+b}$	Demir et al. (2007)

Le taux d'humidité des échantillons pendant le séchage a été exprimé par l'équation (III-1) [4]:

$$MR = \frac{M_t - M_{eq}}{M_0 - M_{eq}} \quad (III-1)$$

Où ( $M_t$ ) est la teneur en humidité à tout moment de séchage (% , base humide), ( $M_0$ ) est la teneur en humidité initiale (% , base humide), et ( $M_{eq}$ ) est la teneur en humidité d'équilibre (% , base humide).

Les modèles de couches minces (tableau 1) étaient appropriés pour trouver le modèle le plus approprié pour décrire la courbe de séchage des pommes de terre.

#### III.4.1. Calcul des diffusivités effectives :

Il a été admis que les caractéristiques de séchage des produits biologiques dans la période de vitesse de chute peuvent être décrites en utilisant l'équation de diffusion de Fick.

La solution de la loi de Fick pour une dalle était, selon l'équation (III-2) [5].

$$MR = \frac{M_t - M_{eq}}{M_0 - M_{eq}} = \frac{8}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp\left(- (2n+1)^2 \pi^2 \frac{D_{eff}}{4H^2} t\right) \quad (III-2)$$

Pour une longue période de séchage , l'équation (III-2) peut être encore simplifiée au seul premier terme de la série [6], Cette équation (III-2) est écrite sous une forme logarithmique selon l'équation (III-3):

$$\ln(MR) = \ln \frac{M_t - M_{eq}}{M_0 - M_{eq}} = \ln \left( \frac{8}{\pi} \right) - \left( \pi^2 \frac{D_{eff}}{4H^2} \right) t \quad (III-3)$$

Les diffusivités sont généralement déterminées en traçant les données de séchage expérimentales en termes de  $\ln(MR)$  en fonction du temps de séchage dans l'équation (III-3), car le graphique donne une ligne droite avec une pente selon l'équation (III-4) [1].

$$k_0 = \pi^2 \frac{D_{eff}}{4H^2} \quad (III-4)$$

### III.5.Conclusion :

Ce chapitre était basé sur la description des étapes expérimentales qui ont été accomplies durant la période entre mars et mai 2021. En fonction des matériaux nécessaires et instruments de mesure spéciaux, les expériences ont été menées dans de bonnes conditions, et que c'était l'une des principales raisons des résultats positifs enregistrés après séchage d'échantillons d'orange, de différentes épaisseurs. En utilisant également certains des modèles mathématiques MR pour décrire le comportement de séchage des tranches d'orange.

## Référence

- [1] : S ,Babalis, &V, Belessiotis. Influence of drying conditions on the drying constants and moisture diffusivity during the thin-layer drying of figs. *Journal of Food Engineering* (65), 449–458. (2004).
- [5] : J ,Crank. *The mathematics of diffusion*. Clarendon. Oxford, England. (1975).
- [6] : H , Togrul. Suitable drying model for infrared drying of carrot. *Journal of Food Engineering*, 77 , 610–619. (2006).
- [3] : R.djohra Et H. lydia « Séchage des Produits Alimentaires : notions de bases, Cinétiques de Séchage et Modélisation »,Université A. MIRA – Bejaia,2020
- [4] : V. Shanmugam, E. N. « Experimental investigation of forced convection and desiccant integrated solar dryer » *Renewable Energy*31, (2006).



# **Chapitre IV**

Résultats

Et

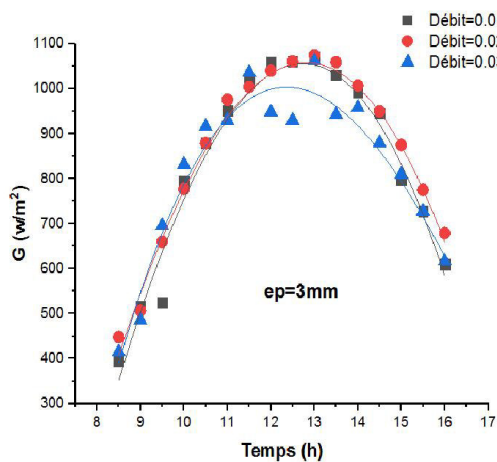
Discussion

**IV.1.Introduction :**

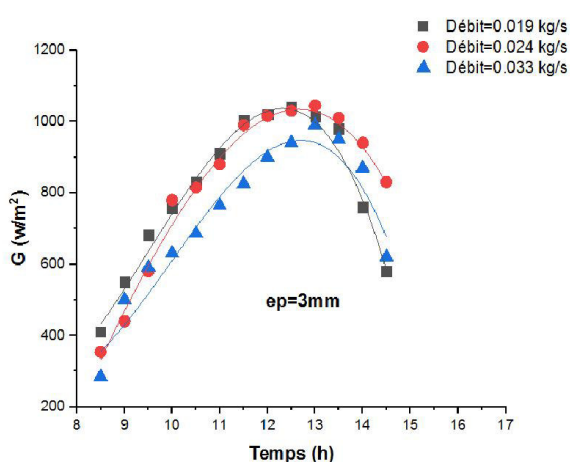
Le rayonnement solaire est une énergie qu'on peut utiliser pour le séchage de corps humide (produit). En ce siècle nous avons la possibilité d'utilisé cette énergie avec de different équipement, cette opération influe sur les paramètres de l'air et du produit.

Nous allons présenter un ensemble de figures liées au courbes qui traduisent les résultats, donc dans ce chapitre nous allons voir les résultats obtenu expérimentalement au cour du processus de séchage ses figures sont interprétés par des courbes qui décrivent les principaux facteurs qui influencent sur l'opération de séchage.

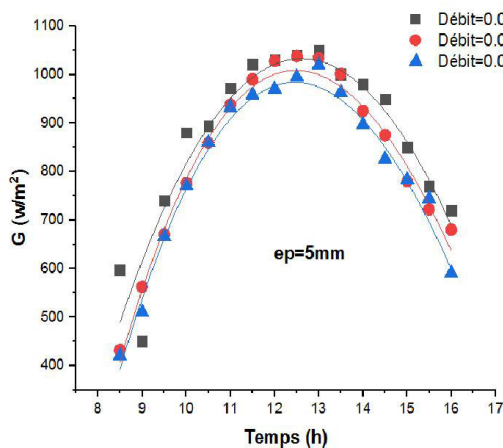
**IV.2. Variation de l'intensité du rayonnement solaire :**



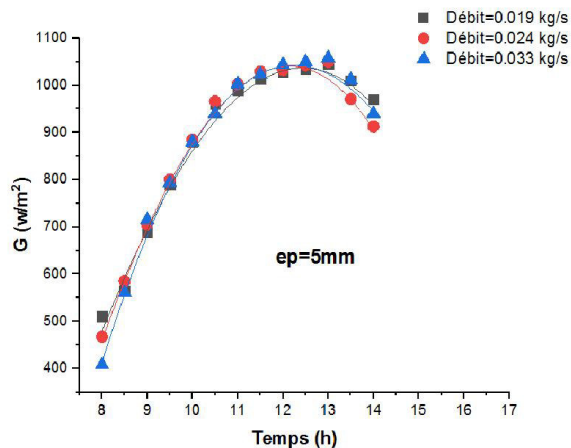
**Figure (IV-2a):** Variation de l'intensité du rayonnement solaire de séchage sans chicane ep=3mm



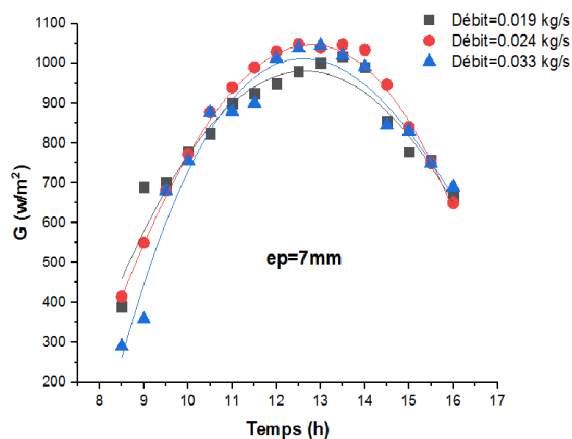
**Figure (IV-2d):** Variation de l'intensité du rayonnement solaire de séchage avec chicane ep=3mm



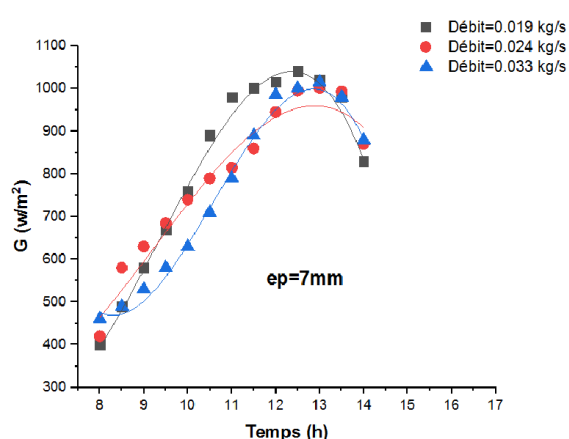
**Figure (IV-2b):** Variation de l'intensité du rayonnement solaire de séchage sans chicane ep=5mm



**Figure (IV-2e):** Variation de l'intensité du rayonnement solaire de séchage avec chicane ep=5mm



**Figure (IV-2c):** Variation de l'intensité du rayonnement solaire de séchage sans chicane  $ep=7\text{mm}$



**Figure (IV-2f):** Variation de l'intensité du rayonnement solaire de séchage avec chicane  $ep=7\text{mm}$

Les figures (IV-2a), (IV-2b), (IV-2c), (IV-2d), (IV-2e) et (IV-2f) présentent les courbes de l'intensité du rayonnement solaire en fonction du temps pendant la journée avec différentes épaisseurs de produit, de débit d'air et la source d'air (trous dans la chambre de séchage) pour sécher l'orange. Le produit a été séché en 9 jours à l'aide d'un capteur solaire inclinable à 38 degrés.

#### Sans chicane :

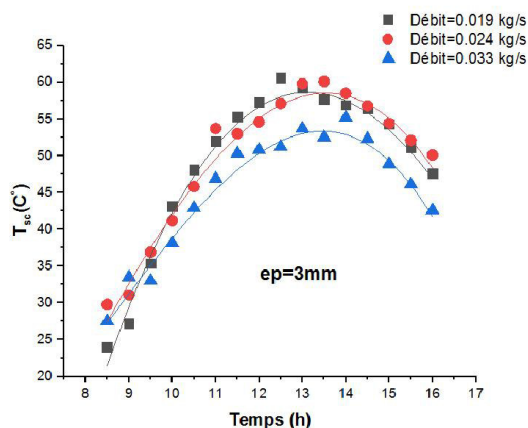
Les figures (IV-2a), (IV-2b) et (IV-2c) représente l'intensité du rayonnement solaire en fonction du temps sans chicane, on a observer pour Le débit=0.019 kg/s une augmentation du rayonnement qui atteint la plus haute valeur, l'enregistrement a été fait le 28/03/2021 à 13<sup>h</sup>00 sa valeur maximal **1071 w/m<sup>2</sup>**, elle diminue a moins de **610 w/m<sup>2</sup>**, pour le deuxième débit=0.024 kg/s sa valeur été de **1074 w/m<sup>2</sup>** le 25/03/2021 a la même l'heure que le premier jour. On ce qui concerne le troisième débit=0.033 kg/s le 27/03/2021 on observer une augmentation a 13<sup>h</sup>00 sa valeur été de **1062 w/m<sup>2</sup>**. pour La figure (IV-2b) on a observe que l'intensité du rayonnement solaire a **1038 w/m<sup>2</sup>** pour le deuxième et troisième jour par contre le première jour a dépassé **1050 w/m<sup>2</sup>** a 13<sup>h</sup>00, mais pour la figure (IV-2c) on a observer une augmentation du rayonnement qui atteint la plus haute valeur, l'enregistrement a été fait le 04/04/2021 a 13<sup>h</sup>30 sa valeur maximal **1007w/m<sup>2</sup>**, elle diminue a moins de **667w/m<sup>2</sup>** par contre le deuxième et troisième débit il ne dépasse pas **1040 w/m<sup>2</sup>**.



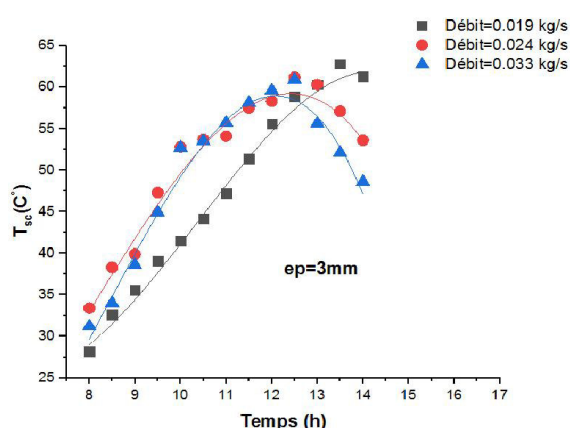
**Avec chicane :**

Les figures (IV-2d), (IV-2e) et (IV-2f) représente l'intensité du rayonnement solaire en fonction du temps avec chicane, pour la première tentative la valeur maximale de l'intensité est  $1045 \text{ w/m}^2$  pour le deuxième débit=0.024 kg/s, Quant à la valeur de rayonnement dans le premier et troisième débit, elles étaient faibles  $1002 \text{ w/m}^2$  et  $990 \text{ w/m}^2$  successivement voir la figure (IV-2d), pour la troisième tentative on a observe une augmentation de la l'intensité de rayonnement solaire pour les trois débits qui atteint la plus haute valeur pour le débit 0.019 kg/s, l'enregistrement a été fait le 26/04/2021 a 13<sup>h</sup>30 sa valeur maximal  $1040 \text{ w/m}^2$ , et pour le deuxième débit =0.024 kg/s sa valeur été de  $1002 \text{ w/m}^2$  le 28/04/2021a 13<sup>h</sup>30. on ce qui concerne le troisième débit=0.033 kg/s le 10/05/2021 on observe une augmentation a 13<sup>h</sup>30 sa valeur été de  $1015 \text{ w/m}^2$

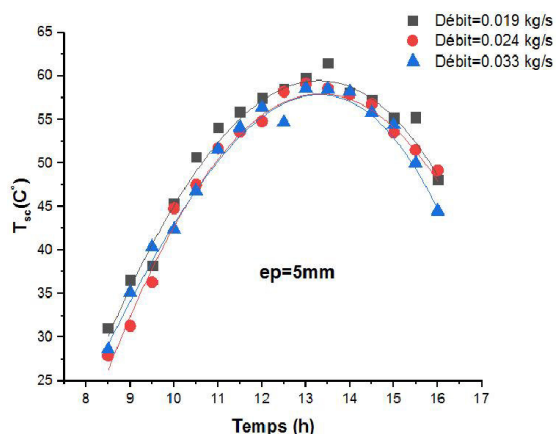
**IV.3. Variation de température de sortie de capteur :**



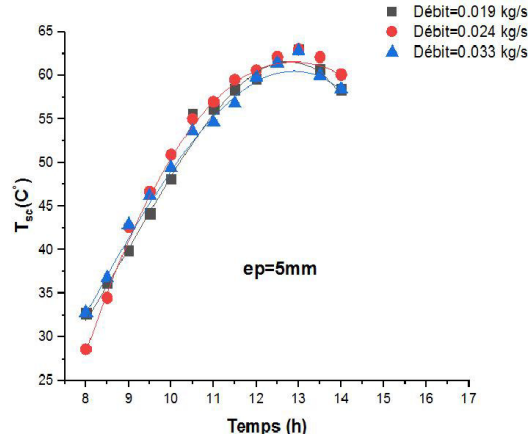
**Figure (IV-3a):** Variation de température de sortie de capteur sans chicane ep=3mm



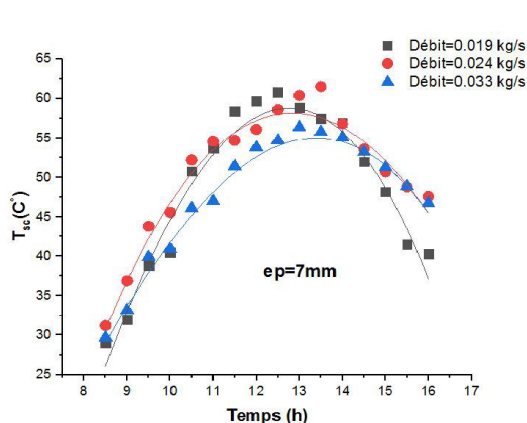
**Figure (IV-3d):** Variation de température de sortie de capteur avec chicane ep=3mm



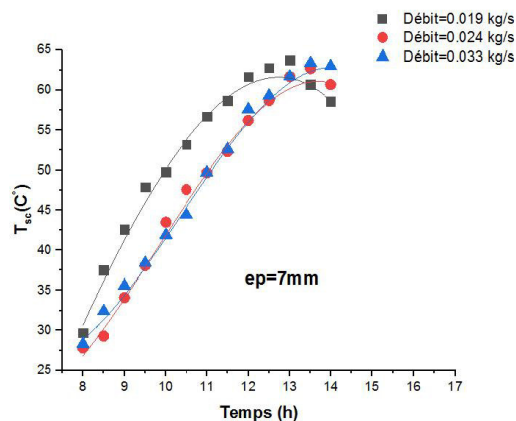
**Figure (IV-3b):** Variation de température de sortie de capteur sans chicane ep=5mm



**Figure (IV-3e):** Variation de température de sortie de capteur avec chicane ep=5mm



**Figure (IV-3c):** Variation de température de sortie de capteur sans chicane  $ep=7mm$



**Figure (IV-3f):** Variation de température de sortie de capteur avec chicane  $ep=7mm$

les figures (IV-3a),(IV-3b),(IV-3c),(IV-3d),(IV-3e) et (IV-3f) représentent la variations de la température sortie du capteur solaire, cette température est une mesure importante pour l'opération de séchage des fruits et légumes qui entre dans la chambre de séchage à travers du conduit.

#### Sans chicane :

Les figures (IV-3a),(IV-3b) et (IV-3c) représentent la variation de température de sortie du capteur sans chicane ,nous constatons une augmentation de la température pendant en trois jour celle-ci la valeur maximale  $60.6^{\circ}C$  le 28/03/2021 en débit= $0.019\text{ kg/s}$  à  $12^{\text{h}}00$  par rapport les deux autre jour  $60.1^{\circ}C$  et  $55.2^{\circ}C$  en débit= $0.024$  et  $0.033\text{ kg/s}$  à  $13^{\text{h}}00$  et  $14^{\text{h}}00$  progressivement(voir la figure (IV-3a)),mais pour la figure (IV-3b) le débit était de  $0.019\text{ kg/s}$  ainsi que la température et  $61.5^{\circ}C$  et pour les débit= $0.024\text{ kg/s}$  la température était de  $59.1^{\circ}C$  à  $13^{\text{h}}00$  et le troisième débit la température a atteint  $58.6^{\circ}C$  ce si revient à la faiblesse du rayonnement solaire et la forte vitesse du vent ,on a enregistré sur la figure (IV-3c) une valeur maximale  $61.5^{\circ}C$  pour le débit= $0.024\text{ kg/s}$  à  $13^{\text{h}}30$  les autres jours la température était environ  $59.8^{\circ}C$  et le rayonnement  $980\text{ w/m}^2$ .

#### Avec chicane :

Les figures (IV-3d), (IV-3e) et (IV-3f) représentent la variation de température de sortie du capteur avec chicane, dans la figure (IV-3d) la température est arrivée  $62.8^{\circ}C$  dans la journée du 12/04/2021 pour le débit= $0.019\text{ kg/s}$ , et  $61.2^{\circ}C$  le 13/04/2021 l'autre débit= $0.024\text{ kg/s}$ , et en ce qui concerne le dernier débit= $0.033\text{ kg/s}$  la température et  $60.9^{\circ}C$  le 14/04/2021, mais par contre pour l'épaisseur  $5mm$  la valeur de la température sortie de capteur et  $63^{\circ}C$  pour le débit= $0.024$  et  $0.033\text{ kg/s}$  , mais on observe une augmentation de la température de sortie de capteur pour l'épaisseur  $7mm$  celle-ci été  $63.8^{\circ}C$  et  $62.7^{\circ}C$  et  $63.4^{\circ}C$  pour les trois débit (voir la figure (IV-3f) ).

IV.4. Variation de température d'entrée de chambre de séchage :

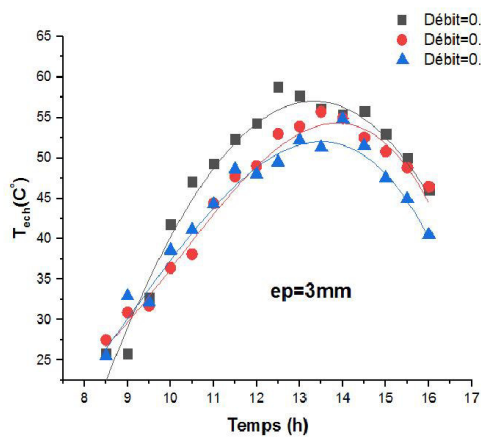


Figure (IV-4a): Variation de température d'entrée de chambre de séchage sans chicane ep=3mm

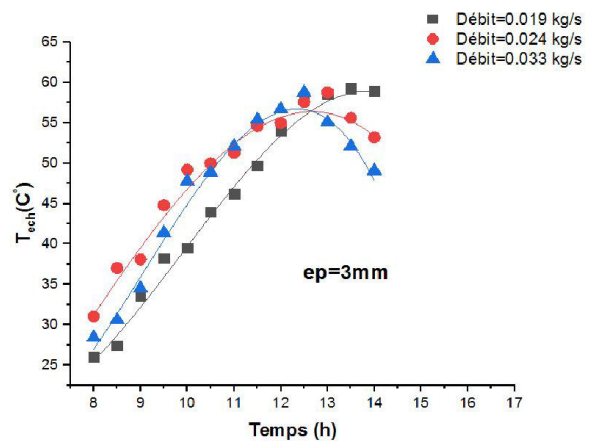


Figure (IV-4d): Variation de température d'entrée de chambre de séchage avec chicane ep=3mm

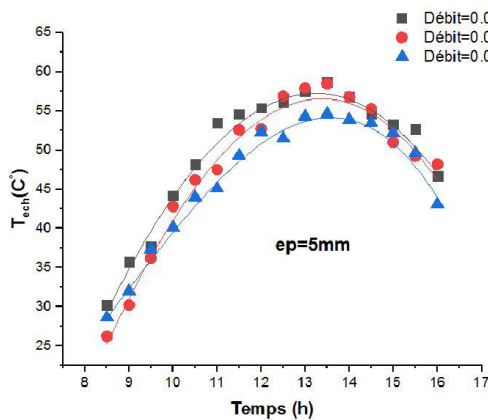


Figure (IV-4b): Variation de température d'entrée de chambre de séchage sans chicane ep=5mm

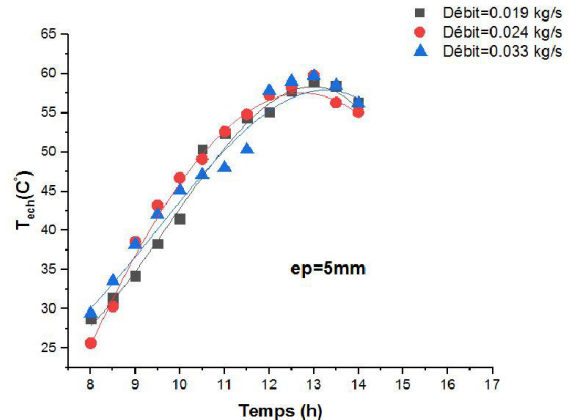


Figure (IV-4e): Variation de température d'entrée de chambre de séchage avec chicane ep=5mm

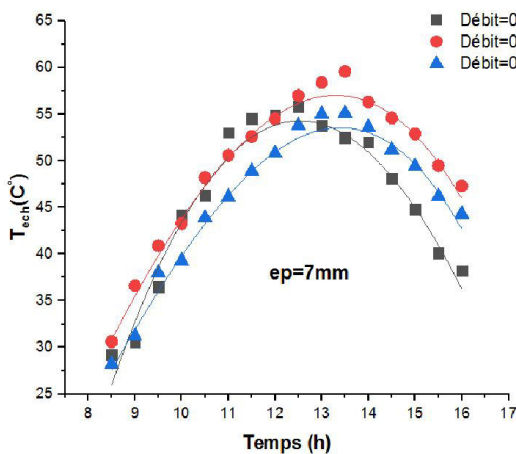


Figure (IV-4c): Variation de température d'entrée de chambre de séchage sans chicane ep=7mm

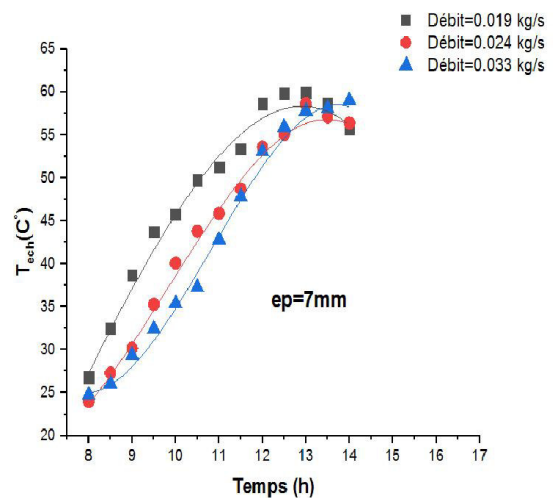


Figure (IV-4f): Variation de température d'entrée de chambre de séchage avec chicane ep=7mm

Les figures (IV-4a), (IV-4b), (IV-4c), (IV-4d), (IV-4e) et (IV-4f) représentent la variation de la température d'entrée de la chambre de séchage en fonction du temps, pour différentes expériences de séchage de orange. Par conséquent, lorsque l'air chaud sort du capteur d'air solaire, il se déplace à travers un canal spécial, puis sa température est mesurée directement à l'entrée de la salle de séchage.

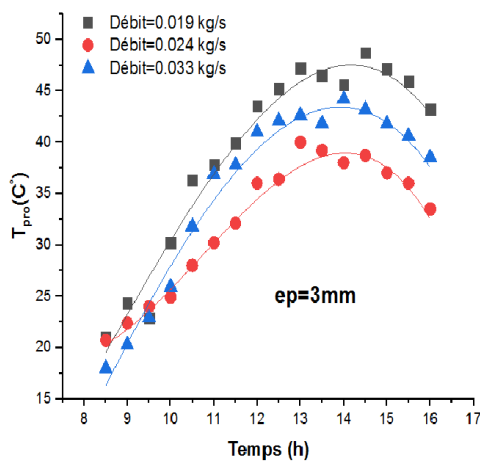
**Sans chicane :**

Les figures (IV-4a), (IV-4b) et (IV-4c), représente la variation de la température d'entrée de la chambre de séchage sans chicane. La valeur de la température d'entrée de la chambre de séchage et les valeurs été moins que la température de sortie de capteur :  $58.8^{\circ}\text{C}$ ,  $54.9^{\circ}\text{C}$  et  $54.8^{\circ}\text{C}$  pour les débits= $0.019, 0.024$  et  $0.033$  kg/s pour le même temps. par ce que il y a une perte de la chaleur. Dans la figure (IV-4b) le plus haut pic été de  $58.7^{\circ}\text{C}$  pour le premier débit et pour le deuxième débit été de  $58.5^{\circ}\text{C}$ , par contre le troisième débit la valeur été  $54.6^{\circ}\text{C}$  ce dernier été faible a cause du vent. Nous observons une augmentation de la température de la chambre de séchage sur les trois débits, sa valeur pour le débit= $0.024$  kg/s était  $60.6^{\circ}\text{C}$  c'est le plus haut pic pour le jour 06/04/2021, les deux autres débits la valeur de la température été moins par rapport au débit= $0.024$  kg/s a cause du rayonnement solaire.

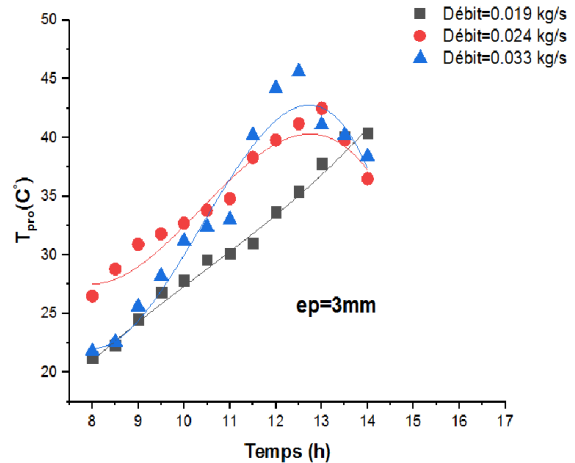
**Avec chicane :**

Les figures (IV-4d), (IV- 4 e) et (IV-4f) représentent la variation de la température d'entrée de la chambre de séchage avec chicane, pour la première tentative la valeur de la température a était  $59.3^{\circ}\text{C}$  (voir la figure (IV-4d)), pour la deuxième tentative la valeur maximale pour les trois débits est  $59.5^{\circ}\text{C}$  ( voir la figure (IV- 4 e)), on ce qui concerne pour la dernière tentative la valeur de température est  $60^{\circ}\text{C}$  pour le premier débit voir la figure (IV-4f).

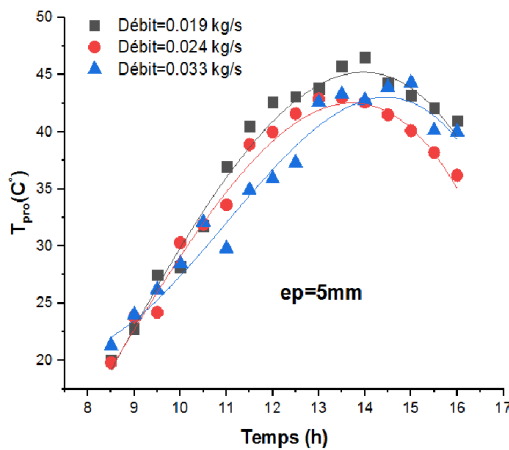
**IV.5. Variation de température de produit sécher :**



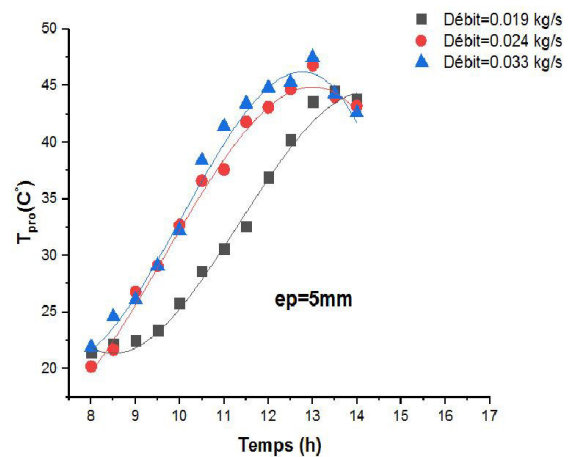
**Figure (IV-5a):** Variation de température de produit sécher sans chicane ep=3mm



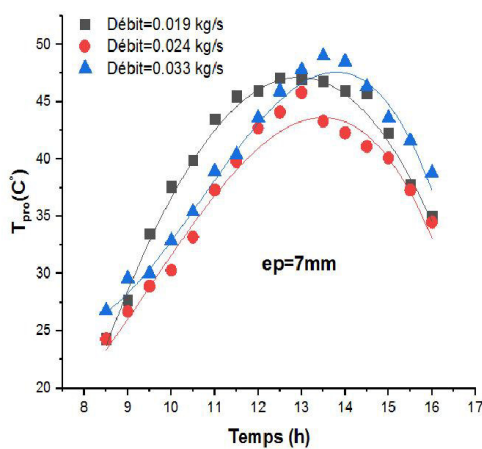
**Figure (IV-5d):** Variation de température de produit sécher avec chicane ep=3mm



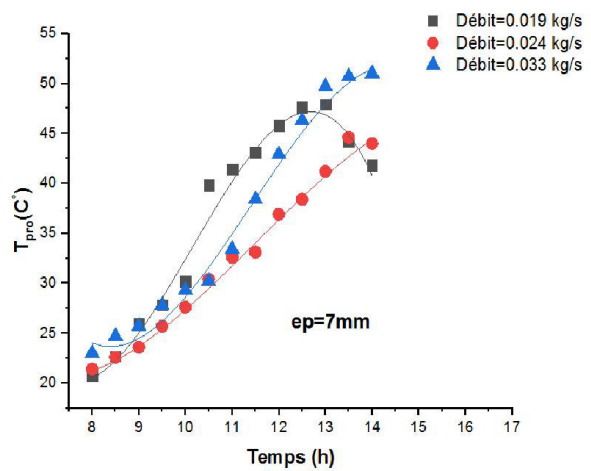
**Figure (IV-5b):** Variation de température de produit sécher sans chicane ep=5mm



**Figure (IV-5e):** Variation de température de produit sécher avec chicane ep=5mm



**Figure (IV-5c):** Variation de température de produit sécher sans chicane ep=7mm



**Figure (IV-5f):** Variation de température de produit sécher avec chicane ep=7mm

Les figures (IV-5a), (IV-5b), (IV-5c), (IV-5d), (IV-5e) et (IV-5f) elles expliquent que la température du produit varie avec le temps pour sécher les oranges de différentes épaisseurs et débits, elle est importante pour l'opération de séchage de plus que cette température était haute, l'opération prendrait moins de temps.

**Sans chicane :**

Les figures (IV-5a), (IV-5b), (IV-5c) représentent la variation de température de produit en fonction de temps sans chicane, on a observé pour les trois tentatives une augmentation, la température a atteint pour la première tentative  $48.7^{\circ}\text{C}$  pour le débit  $=0.019\text{ kg/s}$  et pour le débit  $=0.024\text{ kg/s}$  a été de  $43.5^{\circ}\text{C}$  et le dernier débit a été  $44.2^{\circ}\text{C}$  (voir la figure (IV-5a)), la deuxième tentative la valeur maximale de la température de produit séché, pour les trois débits est :  $48.8^{\circ}\text{C}$ ,  $43^{\circ}\text{C}$ ,  $44.3^{\circ}\text{C}$  voir la figure (IV-5b), et la tentative trois la température du produit et  $47.1^{\circ}\text{C}$ ,  $43.3^{\circ}\text{C}$  et  $46.3^{\circ}\text{C}$  voir la figure (IV-5c).

**Avec chicane :**

Les figures (IV-5d), (IV-5e) et (IV-5f) la variation de température de produit avec chicane sur la figure (IV-5d) une augmentation en trois jours pour les trois débits  $42.8^{\circ}\text{C}$ ,  $42.5^{\circ}\text{C}$  et  $45.6^{\circ}\text{C}$  et après elle a diminué jusqu'à  $40^{\circ}\text{C}$  à  $16^{\text{h}}00$ . pour la figure (IV-5e) en a enregistré une haute valeur de cette température pour les trois débits :  $44.5^{\circ}\text{C}$ ,  $46.8^{\circ}\text{C}$  et  $47.5^{\circ}\text{C}$ . on a eu dans la dernière figure une valeur maximale pour le débit  $=0.033\text{ kg/s}$   $50.7^{\circ}\text{C}$  à  $14^{\text{h}}00$  par contre pour les deux débits elle a été  $47.9^{\circ}\text{C}$  et  $44.6^{\circ}\text{C}$  pour  $0.019$  et  $0.024\text{ kg/s}$  voir la figure (IV-5f).

IV.6. Variation de la température de chambre :

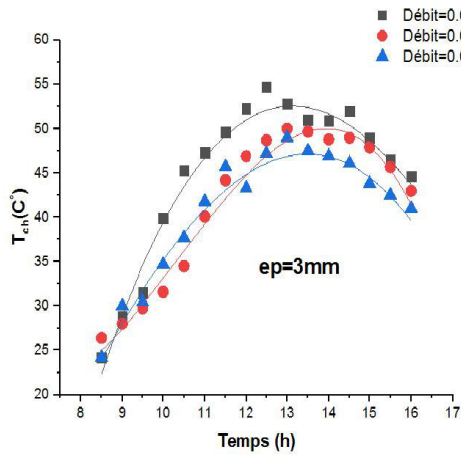


Figure (IV-6a): Variation de température de la chambre de séchage sans chicane ep=3mm

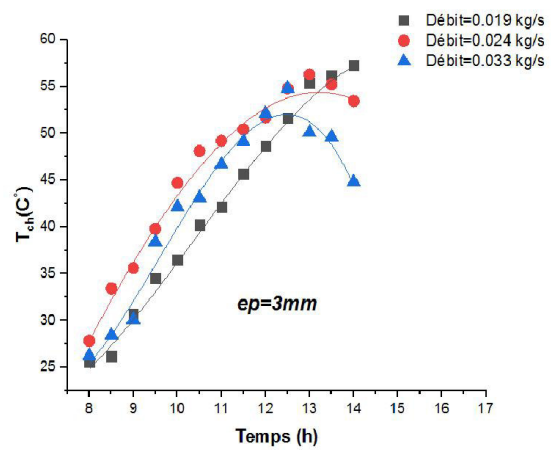


Figure (IV-6d): Variation de température de la chambre de séchage avec chicane ep=3mm

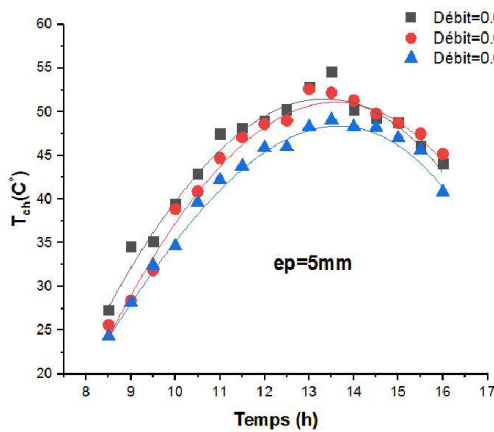


Figure (IV-6b): Variation de température de la chambre de séchage sans chicane ep=5mm

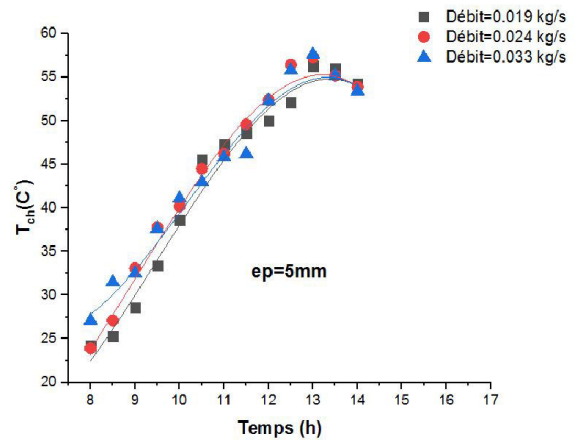


Figure (IV-6e): Variation de température de la chambre de séchage avec chicane ep=5mm

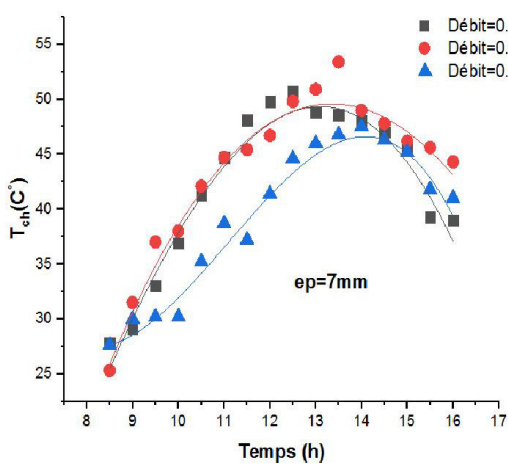


Figure (IV-6c): Variation de température de la chambre de séchage sans chicane ep=7mm

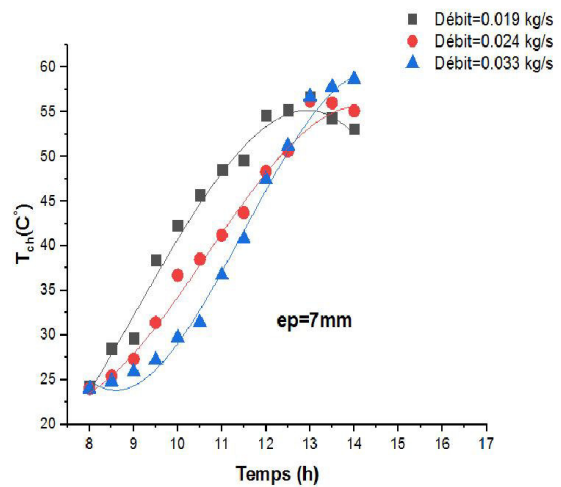


Figure (IV-6f): Variation de température de la chambre de séchage avec chicane ep=7mm



Les figures (IV-6a), (IV-6b), (IV-6c), (IV-6d), (IV-6e), (IV-6f), montrent l'évolution de la température à l'intérieur de la salle de séchage avec le temps pour le produit à sécher avec des épaisseurs différentes, et nous avons observé les résultats suivants :

**Sans chicane :**

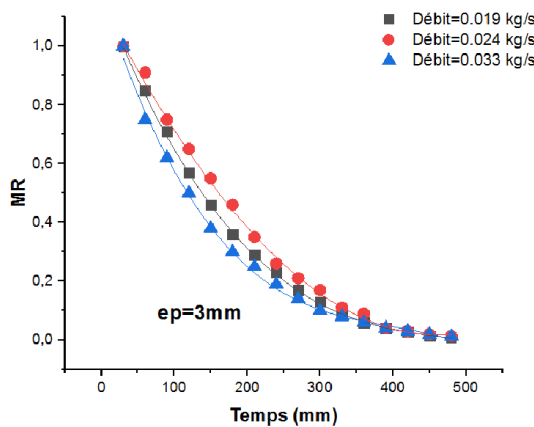
Les figures (IV-6a), (IV-6b) et (IV-6c) explique la variation de température de chambre de séchage sans chicane on remarque une augmentation de la température de la chambre de séchage pour les trois expériences qu'on a fait la plus haute valeur entre 12<sup>h</sup>00 et 13<sup>h</sup>00 pour la première expérience la valeur de température de la chambre de séchage 54.7°C pour le premier débit 50°C et 49°C pour le deuxième et la troisième débit voir la figure (IV-6a), quant à la deuxième expérience voir la figure (IV-6b) la valeur de cette température 54.6°C, 52.6°C et 49.1°C pour les trois débit successivement. pour la troisième expérience les valeurs inscrit est logique, pour le débit=0.019 kg/s la valeur maximale de cette température 50.7°C et 53.4°C pour la deuxième débit=0.024 kg/s et 47.5 pour la troisième débit=0.033 kg/s, Où il y a eu des pertes de température a cause de la vitesse de vent pour la dernière expérience voir la figure (IV-6c).

**Avec chicane :**

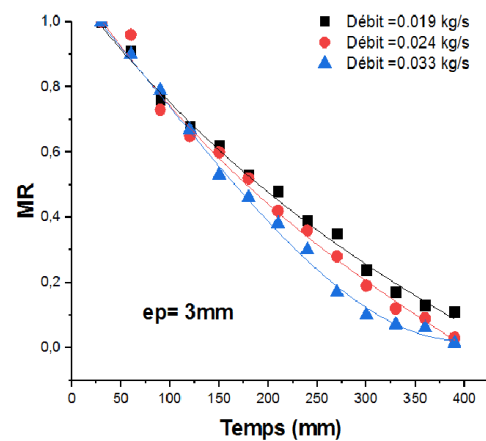
Les figures (IV-6d), (IV-6e), (IV-6f), explique la variation de température de chambre de séchage avec chicane pour les trois tentatives on a observé une augmentation de la température, sur la première expérience valeur maximale pour les trois débits et 57.3°C pour 0.019 kg/s, par contre les deux débit et 42.5°C et 54.8°C pour 0.024 et 0.033 kg/s voir la figure (IV-5d), mais pour la figure (IV-5e) les valeurs de température de la chambre de séchage est pris en considération ou été la valeur 56.3°C, 57.3°C et 57.6°C pour les débit successivement. Pour la dernière figure (IV-6f) la température était plus haute ou elle été 58.6°C pour le débit 0.033 kg/s a 14<sup>h</sup>00 le 10/05/2021 c'est un résultat logique pour le mois de mai, et pour le débit 0.024 kg/s la valeur de température est 56.2°C a 13<sup>h</sup>00 et 56.3°C pour le débit 0.019 kg/s a 13<sup>h</sup>30



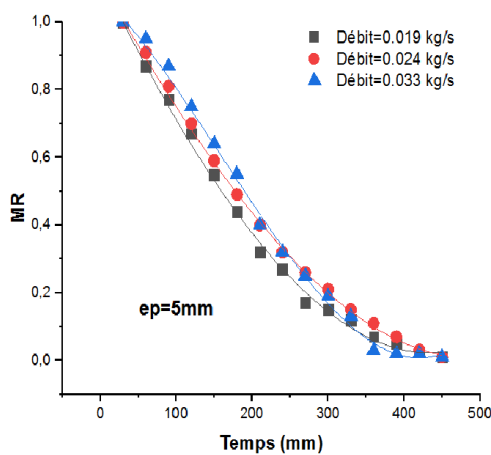
**IV.7.La Variation du teneur en eau MR:**



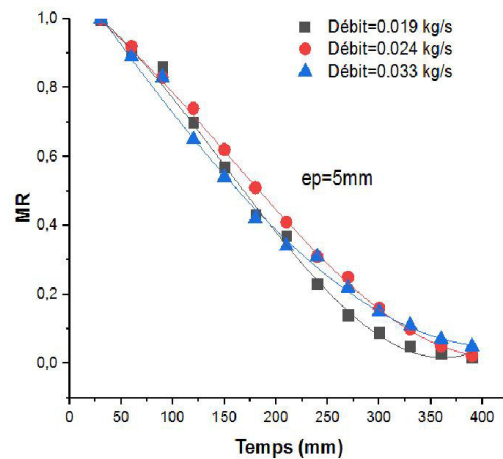
**Figure (IV-7a):** Variation du taux teneur en eau MR sans chicane ep=3mm



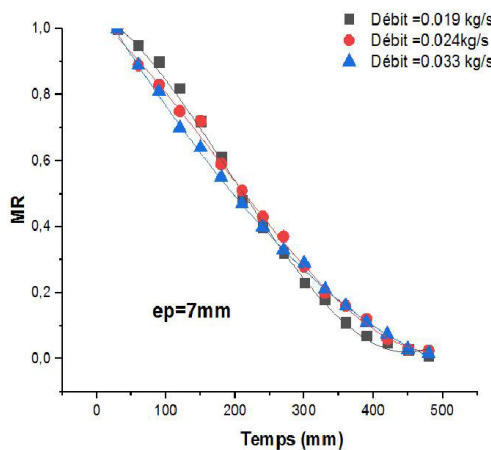
**Figure (IV-7d):** Variation du teneur en eau MR avec chicane ep=3mm



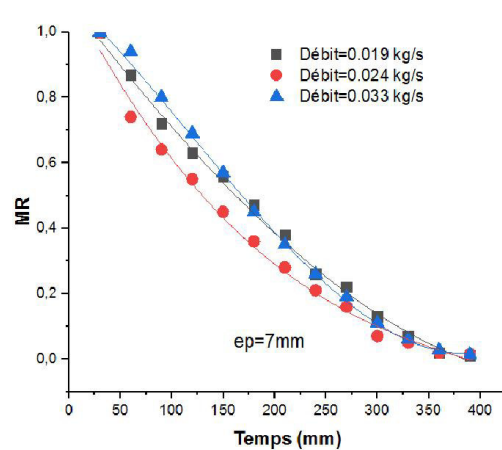
**Figure (IV-7b):** Variation du teneur en eau MR sans chicane ep=5mm



**Figure (IV-7e):** Variation du teneur en eau MR avec chicane ep=5mm



**Figure (IV-7c):** Variation du teneur en eau MR sans chicane ep=7mm



**Figure (IV-7f):** Variation du teneur en eau MR avec chicane ep=7mm

**Sans chicane :**

Les figures (IV-7a), (IV-7b), (IV-7c), représentent la variation du teneur en eau MR sans chicane il y a une réduction sur MR au début, mais quand la température augmente il y a une diminution de MR. En plus du débit accru il y a un séchage rapide. Quand l'épaisseur du produit est plus grande le séchage demande un plus long temps, ce qui revient à une plus grande quantité en teneur en eau (voir les figures).

**Avec chicane :**

Les figures (IV-7d), (IV-7e), (IV-7f), représentent la variation du teneur en eau MR avec chicane, pour cette expérience on trouve une moins teneur en eau MR parce que la température est plus haute, en plus un sur plus sur le débit l'opération se fait plus vite mais cette dernière fait un effet sur le produit à sécher sur la couleur et la forme (voir les figures)

**IV.8.Conclusion :**

le but de ce chapitre était de voir les courbes qui reflètent les plus importants effets sur le séchage solaire qui se transforme petit à petit avec le temps, le principal but de ce chapitre est le changement sur le capteur solaire, donc on a fait la comparaison entre celui-ci et le capteur solaire avec chicane. ou il y a eu un changement sur la sortie de la température du capteur cette température  $63.7^{\circ}\text{C}$  avec chicane et pour le capteur normale  $59^{\circ}\text{C}$ , pour le produit sécher, le séchage de l'épaisseur 5mm était bien pour la couleur et la forme, la température a fait un effet sur l'épaisseur 3mm, pour l'épaisseur 7mm il n'a pas complètement séché car il demande un plus long temps.

## « 1 | DISCUSSION générale »

Le séchage est l'un des processus de base qui augmente efficacement la durée de conservation des produits de l'industrie alimentaire, ces dernières années l'utilisation des séchoirs solaires, ont connu un développement remarquable.

Certaines normes de performance pour le séchage solaire indirect par convection forcée d'air chaud, qui a été conçu et construit à l'avance avec des matériaux locaux, Dans ce travail dans différentes conditions (différence d'épaisseur, débit d'air et de l'entrée de la salle de séchage, ces études expérimentale et théorique on été mené avec l'objectif principale d'améliorer les performance de séchage par l'expérimentation et la simulations (la simulation numérique a été réalisée par origine 8).

La partie expérimentale dépend du séchage par énergie solaire thermique indirecte d'un produit de denrées agricoles (orange), dont le but est de suivre pendant la journée au cours du processus, et des courbes de variation de vitesse de séchage, de température et de changement de teneur en eau de ces produits.

Des tests répétitifs montrent que la vitesse de séchage est fortement influencée par la forme et la taille des échantillons pour le produit et cela confirme que le choix de petites épaisseurs s'accompagne toujours d'un temps de séchage plus rapide

Quant à la température du produit, elle est directement influencée par la température à l'entrée et à l'intérieur de la chambre de séchage, qui travaille à éliminer l'humidité par évaporation, et qui expliquent l'augmentation de la température avec la diminution de l'humidité relative.

De plus, l'humidité relative du produit à sécher est élevée au début des expériences en raison de la forte teneur en humidité des échantillons de produit séché, puis diminue progressivement avec le temps jusqu'à la fin du test

Enfin dans ce but de cette étude c'est de faire la comparaison avec le capteur solaire normal est le capteur solaire avec chicane ou les résultats était :

- Le degré de température élevé a atteint  $64^{\circ}\text{C}$  par rapport avec le capteur normale
- Pour la teneur en eau était basse pour l'épaisseur 3 et 5 mm mais pour l'épaisseur 7mm sa diminution été valablement considérable

## Résumé :

Notre étude expérimentale vise à étudier le comportement de séchage solaire d'un produit alimentaire en convection forcée à l'aide d'un séchoir. Le panneau solaire indirect, préalablement conçu et fabriqué avec des matériaux locaux. Cette étude apprend le séchage du couche orange, qui Il a été découpé en tranches circulaires de 80 mm de diamètre, où nous nous sommes intéressés à l'effet des quatre paramètres (épaisseur de coupe du produit, le débit massique, un cas sans chicanes et un cas avec chicanes) sur la vitesse de séchage. L'objectif principal de ce travail est d'étudier la quantité d'humidité présente dans le produit orange selon deux cas. Dans la première étude, elle est réalisée selon le capteur solaire sans obstacles d'air, et l'autre est avec obstacles d'air. En fin de compte, nous avons conclu que l'épaisseur du produit orange, qui varie entre 3, 5 et 7 mm, a un effet notable sur le processus de séchage, car la vitesse de séchage est plus rapide dans une épaisseur de 3 mm, et d'autre part, nous avons remarqué un petite changement lorsque les obstacles d'air augmentent, et cela est dû à la nature du flux d'air entre la plaque transparente qui est sujette à une perte de chaleur et la plaque absorbante.

**Mots clés :** capteur solaire, chicanes, chambre de séchage, teneur en eau, orange, débit massique.

## تلخيص:

تهدف دراستنا التجريبية إلى دراسة سلوك التجفيف الشمسي لمنتج غذائي في الحمل الحراري القسري باستخدام مجفف شمسي غير مباشر ، تم تصميمه وصنعه مسبقاً ب مواد محلية.تبحث هذه الدراسة في تجفيف الطبقة الرقيقة البرتقال،والتي تم تقطيعها إلى شرائح دائرية و التي تتراوح 80 مم في القطر ، حيث كنا مهتمين بتأثير المعلمات الأربعة (سمك قطع المنتج ، التدفق الكتلي ، حالة بدون حواجز و حالة واحدة بها حواجز) على سرعة التجفيف.الهدف الرئيسي من هذا العمل هو دراسة كمية الرطوبة الموجودة في منتج البرتقال و هذا وفق حالتين في الدراسة الاولى تتم وفق اللاقط الشمسي بدون معيقات هوائية و الاخر يكون بمعيقات الهوائية. في الاخير استخلصنا ان سماكة المنتج البرتقال الذي يتراوح بين 3، 5 و 7 مم له تأثير ملحوظ في عملية التجفيف، حيث تكون سرعة التجفيف اسرع في سماكة تساوي 3 مم، و من ناحية اخرى لاحظنا تغير طفيف عند زيادة المعيقات الهوائية و هذا راجع الى طبيعة جريان الهواء بين اللوحة الشفافة التي تكون عرضة الى الضياع الحراري و اللوحة الماصة.

**مفتاح الكلمات:** اللاقط الشمسي، المعيقات، غرفة التجفيف، معدل كمية الماء، البرتقال، التدفق الكتلي.

**Abstract :**

Our experimental study aims to study the solar drying behavior of a food product in forced convection using a dryer. The indirect solar collector, previously designed and manufactured with local materials. This study learns the drying of the orange layer, which it was cut into circular slices of 80 mm in diameter, where we were interested in the effect of the four parameters (cutting thickness of the product, the mass flow, a case without baffles and a case with baffles) on the drying speed. The main objective of this work is to study the quantity of humidity present in the orange product according to two cases. In the first study, it is carried out, according to the solar collector without air obstacles, and the other is with air obstacles. In the end, we concluded that the thickness of the orange product, which varies between 3, 5 and 7 mm, has a noticeable effect on the drying process, because the drying speed is faster in a thickness of 3 mm. , and on the other hand, we noticed a small change as the air obstacles increase, and this is due to the nature of the air flow between the transparent plate which is subject to heat loss and the absorbent plate.

**Keywords:** solar collector, baffes, drying room, moisture ratio, orange, mass flo rate.