

UNIVERSITE SAAD DAHLAB, BLIDA-1
FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DES ÉNERGIES RENOUVELABLES



Présenté par :

Mr. BELHADJ Ayoub Abdelaghani

**Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de MASTER en
énergie renouvelable**

Option : Conversion thermique

Thème :

**ETUDE ET DIMENSIONNEMENT D'UN CHAMP DE CAPTATION
SOLAIRE DESTINE AU SECHAGE DES PRODUITS
AGROALIMENTAIRE POUR LE SUD ALGERIEN**

Soutenu le 28 septembre 2021 devant le jury composé de :

Monsieur M. MERZOUK	Professeur	USDB	Président
Monsieur K. KACI	MCA	USDB	Examineur
Monsieur D. LAFRI	MCA	USDB	Examineur
Madame N.E KHELALFA	MCB	USDB	Encadreur
Madame K. SMAILI	Doctorante	USDB	Co-Encadreur

Septembre 2021

ملخص

يندرج هذا العمل ضمن مخطط تقيم المنتجات الموسمية التي يكون فيها الحصاد و الانتاج و فير خاصة في الجنوب الجزائري هذا العمل يتعلق بدراسة نظام تجفيف شمسي و ذلك بحساب ابعاد حقل الجامع شمسي السطحي الخاص بالمجفف هذا النظام مكون من جامع شمسي مائي، خزان للمياه الساخنة من فئة 2.8 و 2.5 متر مكعب بدرجة حرارة تصل الى 95 درجة مئوية و ذلك حسب نوعية الجامع الشمسي المستعمل، و يتكون كذلك من غرفة للتجفيف و مبادلان حراريان الاول ماء/ماء و الثاني من نوع هواء/ماء كما انه يحتوي على نظام مجهز خصيصا لضبط درجات الحرارة و فتح و غلق الصمامات اثناء عمل المجفف الخزان المائي غرفة التنقيف مجهزتان بملحق مساعد يعمل في حالة ما اذا كان هناك انخفاض في درجة الحرارة و ذلك لضمان العمل الدائم للمجفف و لضمان نوعية جيدة للمنتج المجفف, و لقد قمنا بتحديد ابعاد الحقل الشمسي باستخدام طريقة f-chart و قد حددنا المساحة المثلى للحقل و المعامل f لتغطية الحاجيات في التجفيف للمنتجات الغذائية لمنطقة بسكرة و في ختام هذا العمل نتطرق الى الدراسة الاقتصادية للمشروع و ذلك بحساب تسعيرة الكيلو واط ساعي للطاقة المنتجة من طرف المنظومة الشمسية وربحيتها.

الكلمات المفتاحية : المجففات الشمسية ، طريقة اف-شارت, المشمش, الدراسة الاقتصادية

Résumé

Ce travail rentre dans le cadre de la valorisation par voie de séchage solaire des produits agricoles des récoltes le cas du sud algérien qui sont en quantité assez importante. Il s'agit d'étudier un système de séchage solaire de type indirect par une convection forcée à l'aide d'un dimensionnement du champ de capteur solaire plan pour le séchoir. Ce système est composé d'un capteur à eau, d'un ballon de stockage d'eau chaude de 2.8m³, de 2.5 m³ à 95°C, d'une chambre de séchage, d'un échangeur de chaleur eau /eau, et d'un autre échangeur eau/air (aérotherme). Et il se comporte aussi un système de régulation, une cuve et une chambre de séchage sont munies d'un appoint conventionnel auxiliaire. Pour la méthode de dimensionnement F-Chart est utilisée pour déterminé la surface optimale et la fraction de satisfaction et cela afin de couvrir les besoins de séchage des produits agro-alimentaires qui trouve dans la région de BISKRA. Puis une étude économique du projet de séchage est discutée et cela en calculant le prix du KWh de l'énergie produite par le système solaire et la rentabilité du système.

Mots clés : Séchoir solaire, méthode de F-chart, abricot, étude économique

Abstract

This work comes within the framework of the valorization by way of solar drying of the agricultural products of the harvests for the case of the Algerian south which are in rather important quantity. It is a question of studying the system of solar drying of indirect type by a forced convection by a dimensioning of a field of flat solar collector for the dryer. This system is composed of a water collector, a hot water storage tank which according to the type of collector is 2.8m³ or 2.5 m³ at 95°C, a drying chamber, a water/water heat exchanger, and another water/air exchanger (air heater). The system is equipped with a control system, the tank and the drying chamber are equipped with an auxiliary conventional booster. The F-Chart method is used to determine the optimal surface and the fraction of satisfaction in order to cover the drying needs of the agro-food products of the BISKRA region. An economic study of the drying project is discussed by calculating the price per KWh of the energy produced by the solar system and the profitability of the system.

Key words Solar dryers, f-chart method, apricot, economic study.

Remerciements

*Mes plus profonds remerciements à Madame **NAWAL ELKAHINA-KHELALFA** non seulement d'avoir accepté l'encadrement de ce travail, mais surtout pour son aide, ses orientations, et ses encouragements, sa gentillesse tout au long de la réalisation de ce présent travail.*

*J'adresse mes remerciements à Monsieur le Professeur **MERZOUK MUSTAPHA**, notre chef d'option, pour les efforts prodigués, avec générosité et assistance tout le long de ce travail.*

*A Monsieur **KACI KARIM** pour tout l'aide qui m'a donné de leur temps, fructueux conseils pour ce travail, pour la bonté de son cœur et sa générosité.*

*L'expression de ma plus profonde gratitude et mes vifs remerciements à Melle **SMAILI Karima** sa bonté, sa disponibilité de tous les jours et ses nombreux et fructueux conseils.*

*A Monsieur **LAFRI DJAMEL** notre chef de département pour son soutien, son attention.*

*Je tiens à remercier sincèrement **les membres du jury** qui me font le grand honneur d'évaluer ce travail.*

*J'adresse mes remerciements A Monsieur **EL MOKRETAR. S** de CDER et A Monsieur **SELLAMI. R** de UDES pour tous les efforts déployés et les informations donnée le long de la visite au centres, Merci beaucoup.*

Dédicace

À

Ma Mère

Md : LARBI RACHIDA

À

Mon père

MR : BELHADJ ELHANNACHI

À

Mes deux frères

ABDELBASSET et MOHAMMED ISMAIL

À

Mes deux sœurs

AMANI MAROUA et MANEL

À

Mes grands parent

MOHAMMED BELHADJ et LARBI AHMED (Allh yerhemhoum).

A.A Belhadj

Nomenclature- Symboles-Acronymes

H_{gh} : L'irradiation global sur le plan horizontal.

H_{dh} : L'irradiation diffus sur le plan horizontal.

\bar{H}_{cc} : L'irradiations par ciel clair.

H_{β} : L'irradiation global sur le plan incliné.

$\bar{\sigma}$: Fraction d'insolation.

φ : L'attitude du lieu.

N_j : Numéro du jour dans l'année.

Y : Les pertes thermiques mensuelles d'un capteur porté à une température de référence (100°C).

X : L'énergie absorbée en moyenne par jour.

f : Fraction de satisfaction.

\bar{T}_d : Température diurne.

T_{ref} : Température de référence (100 °C).

N : Nombre de jours dans le mois.

A_c : Surface des capteurs.

F'_R : Le facteur modifié d'évacuation de la chaleur du capteur solaire.

Δt = Temps.

UL : Le coefficient global de pertes thermiques.

$(\bar{\tau}\bar{\alpha})_e$: La moyenne mensuelle du produit de la transmissivité et de l'absorptivité du capteur.

$\frac{(\bar{\tau}\bar{\alpha})}{(\tau\alpha)_n}$: Rapport de correction de produit transmission du vitrage et l'absorptivité.

L : charge de chauffage totale mensuelle pour le chauffage des locaux et l'eau chaude.

\bar{R}_b : Coefficient de correction géométrique journalier pour l'éclairement direct.

\bar{R} : Coefficient de correction géométrique journalier global.

ω_s : L'angle horaire au lever du soleil.

ω : Angle horaire.

θ : Angle d'incidence des rayons solaires.

$\theta_b, \theta_{ds}, \theta_{dc}$: Angle d'incidence équivalent direct, diffus sol et diffus ciel respectivement.

β : Angle d'inclinaison du capteur, par rapport à l'horizontale.

ρ : Albédo.

X_c : La capacité de stockage réelle.

X : La capacité de stockage standard.

M_{st} : Masse de stockage d'eau.

$\frac{FR}{FR}$: Rapport de correction d'efficacité de l'absorbeur.

NC : nombre de capteurs en série.

T_{Air} : Température de l'air a l'entrée de l'armoire.

T_{pr} : Température du produit a sèche à l'intérieur de la chambre avant l'opération de séchage.

\dot{m}_{Air} : Débit massique de l'air asséchant.

C_{PA} : Capacité calorifique massique l pression constante de l'air asséchant.

T_{ce} : Température chaude entre dans l'échangeur.

T_{cs} : Température chaude sortie dans l'échangeur.

T_{fe} : Température froide entre dans l'échangeur.

T_{fs} : Température froide sortie dans l'échangeur.

ε : L'efficacité de l'échangeur.

LEC : Le coût de l'énergie nivelé.

TRB : Temps de retour brute.

C_{rf} : le facteur de récupération du capital.

K_{invest} : Coût investissement.

$K_{insurance}$: Taux d'assurance net.

K_d : Taux d'intérêt net.

n : durée de vie du système .

$K_{O,M}$: Coût annuel d'exploitation et de maintenance.

K_{fuel} : Coût annuelle en carburant.

E_{net} : énergie net produite par le système.

Unités

Symbole	Unité
H	Wh/m ²
$\varphi, \theta, \beta, \omega$	Degré
UL	W/m ² °C
f, ε	%
$\bar{T}_d, T_{ref}, T_{Air}, T_{pr}, T_{ce}, T_{cs}, T_{fe}, T_{fs}$	°C
A_c	m ²
Δt	Secondes
L	Joule
M_{st}	Litre
\dot{m}_{Air}	kg.S-1
C_{PA}	J.kg ⁻¹ .K ⁻¹
LEC, $K_{O,M}, K_{fuel}$	DZD
n, TRB	Ans
E_{net}	Wh

Sommaire

Résumé.....	a
Remerciements.....	b
Dédicace.....	c
Nomenclature- Symboles-Acronymes	d
Sommaire	g
Liste des figures	k
Liste des tableaux.....	m
Introduction générale	2
CHAPITRE I : ETAT DE L'ART	4
Introduction.....	5
I.1 Etat de l'art	5
I.1.1 Séchoir Solaire Directe SSD (Algérie)	5
I.1.2. Séchoir Solaire Mixte SSM (Algérie)	6
I.1.3. Séchoir Solaire Indirecte SSID (Algérie)	7
I.1.4. Séchoir Solaire Indirecte SSID (Algérie)	8
I.1.5. Séchoir Solaire Indirecte SSID (Monde).....	9
I.1.6. Séchoir Solaire Indirecte SSID (Monde).....	10
I.1.7. Séchoir Solaire Indirecte SSID (Monde).....	11
I.1.8. Séchage avec système de stockage	12
I.1.9. Séchage avec système de stockage	13
I.1.10 Séchage hybride avec Système de stockage et un appoint à GPL	14
I.1.11. Méthode de f-Chart.....	15
I.1.12. Méthode de f-Chart.....	16
Conclusion	17
CHAPITRE II : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE.....	18
Introduction.....	19
II.1. Le séchage	19
II.2. Séchage solaire.....	19
II.3. Intérêt du séchage	19
II.4. Classification des séchoirs solaires	19
II.4.1. Type de séchoir	20
II.4.2. Les séchoirs naturels	20
II.4.3. Les séchoirs solaires directs	20
Description.....	21

Avantages.....	21
Inconvénients	21
II.4.4. Séchoir solaire indirect.....	22
Avantages.....	22
Inconvénients	22
II.4.5. Les séchoirs mixtes	22
II.4.6. Les séchoirs solaires hybrides	23
II.4.7. Les séchoirs solaires en mode passif.....	23
II.4.8. Les séchoirs solaires en mode actif	23
II.5. Capteur solaire plan.....	24
II.5.1. Les capteurs plans	24
II.5.2. Les différents composants d'un capteur solaire à eau.....	24
II.5.2.1. L'absorbeur	25
II.5.2.2. Le fluide caloporteur	25
II.5.2.3. La couverture.....	25
II.5.2.4. L'isolation thermique	25
▪ Partie avant de l'absorbeur.....	25
▪ Parties arrière et latérale	26
II.5.2.5. Le coffre	26
II.6. Classification des capteurs	26
II.6.1. Le fluide de travail utilisé.....	26
II.6.2. L'orientation des capteurs	26
II.6.3. Les types des composants	27
II.7. Fonctionnement d'un capteur solaire plan	27
II.8. Les capteurs solaires a tube sous vide	28
Conclusion	30
CHAPITRE III : DESCRIPTION DU SYSTEME ET MODELISATION DE f -CHART	31
Introduction.....	32
III.1. Description du système	32
III.2. Caractéristique des capteurs (fiche technique)	33
III.2.1. Capteur a eau.....	33
III.2.2. Capteur a tube sous vide	33
III.3. Le choix du site.....	33
III.3.1. Le produit à séché	34
III.4. Estimation de l'irradiation global et diffus sur le plan horizontal	35

III.5. La modélisation de la méthode de <i>f</i> -CHART	35
III.5.1. Calcul des variables X ET Y	35
III.5.2. Température moyenne diurne	36
III.5.3. <i>f</i> -CHART pour les systèmes liquides	36
III.5.4. L'angle horaire au lever du soleil	37
III.5.5. Coefficient de correction géométrique journalier pour l'éclairement direct	37
III.5.6. Coefficient de correction géométrique journalier global	37
III.5.7. Correction des produits $(\tau\alpha)_e$ par :	37
III.5.8. Le facteur $\kappa\tau\alpha$:	37
dû à l'effet cosinus, et il est intervenu pour la correction du rapport $(\tau\alpha)(\tau\alpha)_n$,	37
III.5.9. Les produits $(\tau\alpha)_e$ mensuels moyens :	37
III.5.10. Correction de débit :	38
III.5.11. Correction de la charge Taille de l'échangeur de chaleur	38
III.5.12. Correction du rapport FRFR	38
III.5.13. La surface de captation	38
III.5.14. Correction série parallèle	39
III.5.15. Les besoins en séchage	40
III.7. L'organigramme de calcul	40
Conclusion	41
CHAPITRE IV : RESULTAT ET DISCUSSION	42
Introduction	43
IV.1. L'estimation des irradiations global et diffus sur le plan horizontal	43
IV.2. L'estimation des irradiations global sur le plan incliné	44
IV.2.1. Profil de besoin de séchage et le potentiel solaire	44
IV.3. Résultats de calculs des différents paramètres et surfaces selon la méthode <i>f</i> -chart	45
IV.4. La surface du champ	46
IV.4.1. Le nombre de capteur en série	46
IV.4.2. Les surfaces mensuelles pour le capteur à eau	47
➤ Le capteur a eau « auroTHERM pro VFK 125 V »	47
➤ Le capteur a tube sous vide « JUNKERS VK 280-1 »	48
IV.5. Le choix de type de capteur	50
IV.6. Le ballon de stockage	50
IV.6.1. Pour le capteur « auroTHERM pro VFK 125 V »	50
IV.6.2. Pour le capteur « JUNKERS VK 280-1 »	50

IV.7. Les échangeurs thermiques.....	50
IV.7.1. Echangeur entre le champ et la cuve de stockage « échangeur a eau ».....	50
IV.7.2. Echangeur entre la cuve de stockage et la chambre de séchage « échangeur air/eau »...51	
IV.8. Variation temporel du Rendement instantané.....	Erreur ! Signet non défini.
IV.8.1. Rendement	Erreur ! Signet non défini.
IV.9. Etude économique	52
IV.9.1. Le coût de l'énergie nivelé	52
IV.9.2. Estimation de coût d'investissement à l'aide du solaire	52
IV.9.2.1. Estimation de cout de maintenance	53
IV.9.2.2. Énergie nette produite par le système	53
IV.9.2.3. Coût annuelle en carburant	53
IV.9.2.4. Le LEC a l'aide du solaire	53
IV.9.3. Calculons le LEC a l'aide d'une chaudière à gaz	53
IV.9.3.1. Estimation de cout de maintenance	54
IV.9.3.2. Coût annuelle en carburant	54
IV.9.3.3. Coût annuel en électricité à l'aide de la chaudière	54
IV.9.4. Temps de retour brut (TRB)	54
Conclusion	55
Conclusion générale.....	59
Référence bibliographie	62

Liste des figures

Chapitre I : état de l'art

Figure I- 1 : Séchoir serre	5
Figure I- 2: Séchoir solaire mixte de l'intérieur et de l'extérieur.	6
Figure I- 3: Séchage naturel.....	7
Figure I- 4: Séchage forcé.....	7
Figure I- 5: Forme finale du séchoir	8
Figure I- 6: Échantillons de poires avant séchage	9
Figure I- 7: Échantillons de poires après séchage.....	9
Figure I- 8: Vue isométrique et instrumentation du séchoir solaire mixte.	10
Figure I- 9: Vue d'ensemble du séchoir fabriqué	11
Figure I- 10: Représentation schématique de la cellule de séchage, du capteur à air et du stockage sur lit de galet pour le séchage de la coriandre.	12
Figure I- 11: Le schéma du nouveau système de séchage.	13
Figure I- 12: Séchoir hybride avec Système de stockage et un appoint à GPL	14
Figure I- 13: Modèle du système,	15
Figure I- 14: Configuration standard pour le chauffage de l'eau,	16

Chapitre II : étude bibliographique

Figure II- 1 Séchage naturel	20
Figure II- 2: Les séchoirs directs	21
Figure II- 3: Schémas représentatif d'un séchoir solaire actif	22
Figure II- 4: Composants d'un capteur	24
Figure II- 5: Fonctionnement des capteurs	28
Figure II- 6: Collecteur solaire à tube sous vide avec un tube en U.	29
Figure II- 7: Coupe transversale d'un tube sous vide à tube en U rempli de graphite compressé	29
Figure II- 8: Collecteur solaire à tubes sous vide (avec caloducs)	29
Figure II- 9: Circulation naturelle de l'eau dans un tube sous vide ouvert d'un seul côté.....	30
Figure II- 10: Les tubes sous vide placés horizontalement.....	30

Chapitre III : description du système et modélisation de f-chart

Figure III- 1: Représentation schématique du système solaire de séchage étudié.....	32
Figure III- 2: Carte de la région BISKRA	34
Figure III- 3: Abricots entier et en coupe.....	34
Figure III- 4: f-chart pour les systèmes utilisant des supports liquides de transfert et de stockage de la chaleur, Beck-man et al.1977.....	36
Figure III- 5: . Courbe représente l'évolution de température de sortie du champ selon la nombre de capteur en série.	39

Chapitre IV : résultat et discussion

Figure IV- 1: Les irradiations diffuses sur le plan horizontal.....43

Figure IV- 2: Les Irradiations solaire global sur le plan horizontal.....43

Figure IV- 3: Les Irradiation solaire global sur le plan incliné.....44

Figure IV- 4: les profils des périodes de récolte et l'apport solaire45

Figure IV- 5: représentation du nombre de capteur en série selon la température voulu46

Figure IV- 6: Représentation de la configuration du champ par des capteurs a eau « auroTHERM pro VFK 125 V ».....47

Figure IV- 7: Représentation des histogrammes des fractions de satisfaction mensuel de chaque mois pour la surface du mois le plus défavorable.....48

Figure IV- 8: . Représente la configuration du champ par des capteurs a tube sous vide « JUNKERS VK 280-1 ».49

Figure IV- 9: Représente les histogrammes des fractions de satisfaction mensuel de chaque mois pour la surface du mois le plus défavorable.....49

Figure IV- 10: Représentation schématique du premier circuit entre le champ de capteurs et la cuve de stockage.50

Figure IV- 11: Évolution des températures dans l'échangeur de fonctionnement contre-courant.51

Figure IV- 12: Représentation schématique du deuxième circuit entre la cuve de stockage et la chambre de séchage.51

Figure IV- 13: évolution des températures du deuxième échangeur de fonctionnement contre-courant**Erreur ! Signet non défini.**

Figure IV- 14: Courbe représente la variation du rendement instantané en fonction de X.**Erreur ! Signet non défini.**

Figure IV- 15: Rendement du champ de capteur durent l'année.....**Erreur ! Signet non défini.**

Liste des tableaux

Chapitre I : Etat de l'art

Tableau I- 1: SSD Algérie.....	5
Tableau I- 2: SSM Algérie.....	6
Tableau I- 3: SSID Algérie.....	7
Tableau I- 4: SSID Algérie.....	8
Tableau I- 5: SSID Monde.....	9
Tableau I- 6: SSID Monde.....	10
Tableau I- 7: SSID Monde.....	11
Tableau I- 8:SSID avec stockage de chaleur Monde.....	12
Tableau I- 9: SSID avec stockage de chaleur Monde.....	13
Tableau I- 10:séchoir hybride avec Système de stockage Monde.....	14
Tableau I- 11: Application de f-chart Algérie.....	15
Tableau I- 12: Application de f-chart Monde.....	16

Chapitre II : Etude bibliographique

Tableau II- 1: Représente les différents types des capteurs à tube sous vide.....	28
---	----

Chapitre III : Description du système et modélisation de f-chart

Tableau III- 1: fiche technique auroTHERM pro VFK 125 V.	33
Tableau III- 2: fiche technique JUNKERS VK 280-1.	33
Tableau III- 3: coordonnées du site.....	34

Chapitre IV : Résultats et discussion

Tableau IV- 1: Résultats de calculs des différents paramètres et surfaces selon la méthode f-chart. .	45
Tableau IV- 2: Représente les surfaces mensuelles des champs pour les journées types de chaque mois...	47
Tableau IV- 3: Représente les fractions de satisfaction mensuelles de chaque mois pour la surface du mois le plus défavorable.	47
Tableau IV- 4: Représente les surfaces mensuelles des champs pour les journées types de chaque mois...	48
Tableau IV- 5: Représentation des fractions de satisfaction mensuelles de chaque mois pour la surface du mois le plus défavorable.	49
Tableau IV- 6: rendement instantané de la journée 17 janvier.	Erreur ! Signet non défini.
Tableau IV- 7: le rendement du champ pour les journées types de l'année.....	Erreur ! Signet non défini.
Tableau IV- 8: coût d'investissement.....	52
Tableau IV- 9: coût de maintenance.....	53
Tableau IV- 10: coût d'investissement.....	53
Tableau IV- 11: coût de maintenance.....	54
Tableau IV- 12: Consommation annuelle.....	55

Introduction générale

Introduction générale

Aujourd'hui, l'un des principaux défis mondiaux est de pouvoir assurer la sécurité alimentaire d'une population. Selon les études, autour de 12,9 % de la population mondiale est aujourd'hui sous-alimentées, la population mondiale atteindra les 9,8 milliards d'habitants qui va renforcer le déséquilibre alimentaire [1], et pour résoudre le problème il suffit d'augmenter la production alimentaire en apportant plus de superficie cultivée, avec de nouvelles méthodes mécanisées de l'agriculture. Une autre alternative, qui est tout aussi importante mais qui ne reçoit pas l'attention voulue, est la réduction de la perte de nourriture pendant et après la récolte. Et comme l'Algérie est parmi les grands pays agricoles en Afrique, l'agriculture est un facteur important de l'économie. Il faut appliquée des solutions qui existent pour éviter les dégradations des produits de la récolte saisonnière et cela permet aussi, d'éviter de les vendre à des prix bas qui ne sont pas rentables pour l'agriculteur. Il faut aller vers l'industrie de transformation alimentaire. De nombreuses solutions sont proposées pour pallier à ce handicap tel que la congélation, la reproduction et le séchage.

La pénurie et l'augmentation des prix des carburants ont fait que le séchage industriel soit un procédé couteux et pas très économique, car il est connu pour être un processus énergivore. Sa consommation représente 10 à 15 % de la consommation totale d'énergie industrielle mondiale [2]. Pour cela, des études et des recherches sont menées pour l'utilisation de l'énergie solaire comme source énergétique alternative pour le séchage. Dans les pays en voie de développement et particulièrement en Algérie, qui a un gisement solaire important tel que la quantité d'énergie reçue au sol d'une moyenne de 3500 MW/m² /an [3], le séchage solaire des produits agricoles ou autres est une aubaine.

Depuis des milliers d'années l'homme a séché les viandes, les poissons, les fruits et les légumes, pour les préserver afin de les consommer en période de pénurie. Le séchage est ainsi une méthode très ancienne de conservation des aliments pratiquée par l'homme visant la conservation et la stabilisation des denrées périssables par abaissement de leur activité d'eau, en effet, pendant le processus de séchage, l'eau est enlevée sous forme de vapeur par l'air.

Il existe différents types de séchoirs solaires. Ils sont généralement classés selon le mode : direct, indirect et mixte. La circulation d'air à travers le séchoir est assurée soit naturelle ou forcée (avec un ventilateur). Les séchoirs solaires à convection naturelle sont généralement peu efficaces, car la circulation de l'air est assez faible. Certaines études ont révélé que l'utilisation des cheminées solaires peut améliorer l'écoulement d'air (débit et vitesse) à travers le séchoir solaire. Cette technique est devenue le moteur thermique réel dans la plupart des séchoirs solaires à convection naturelle.

Dans cette perspective, le présent travail s'intéresse particulièrement à l'étude et dimensionnement d'un champ de capteur pour la mise en marche d'un séchoir destiné à sécher différents produits agroalimentaires pour le cas de la région de BISKRA.

Le séchoir solaire est de type indirect, équipé d'un système de stockage pour faire fonctionner le séchoir en continue et dans les meilleures conditions. Le présent mémoire est structuré en quatre chapitres :

Le premier chapitre présente une synthèse bibliographique succincte et récente apportée sur les séchoirs solaires et leur différent type et technologies utilisées directs, indirects, mixte et hybrides.

Le deuxième chapitre présente une étude bibliographique sur le séchage, son intérêt les avantages et les inconvénients de chaque type des séchoirs solaires passifs et actifs, ainsi que des généralités sur les capteurs solaires plans et des notions théoriques de base pour la compréhension du système de séchage.

Le troisième chapitre détaille la modélisation d'estimation des irradiances et de la méthode de dimensionnement étudié, les formules mathématiques, puis le choix du site selon le produit à sécher et la définition du système de séchage et ses composants.

Dans le chapitre quatre, des histogrammes représentent l'estimation des irradiances par le modèle de Capderou pour les journées type du mois de l'année et il décrit les résultats de dimensionnement du champ de capteurs et comparaison entre les résultats obtenus pour les différents capteurs utilisés et calcul des efficacités des échangeurs du système et la clôture par l'analyse économique (le LEC et le TRB).

Une conclusion générale finalise fort de cette étude en synthétisant les résultats obtenus de cette étude et les perspectives à venir.

CHAPITRE I : ETAT DE L'ART

Introduction

Dans ce chapitre, nous allons présenter les principaux travaux récents réalisés autour du thème des installations de séchage solaire et/ou étudiés à travers le monde, au Maghreb et en Algérie.

I.1 Etat de l'art

I.1.1 Séchoir Solaire Directe SSD (Algérie) [4]

Dans cette étude théorique et expérimentale **Mr S. EL MOKRETAR, en 2004**, trouve qu'à travers ce séchoir serre, on peut sécher 2 à 5 fois plus vite qu'à l'air libre, sans aucun apport d'énergie d'appoint, grâce au système de stockage chaleur dans le lit de galet.

Tableau I- 1: SSD Algérie.

Nom et date et lieu	Hypothèse Et condition d'essai	Paramètre d'influence	Résultat	Méthode
S. EL MOKRETAR et al EN 2004 Rev. Energ. Ren. Vol. 7 (2004) 109-123	Un système de stockage d'énergie composé d'un lit de galets Les parois latérales et le plancher sont isolés thermiquement Deux inclinaisons sont envisagées : (55°) et (15°) Le grand axe du dispositif est parallèle à la direction Est-Ouest verre ordinaire d'épaisseur 4 mm	Stockage Réflectivité de parois latérale Effet cheminé	L'écart maximum entre les résultats théoriques obtenus, comparé à ceux relevés expérimentalement est inférieur à 20 %	Méthode des bilans globaux la méthode numérique de Runge - Kutta au 4ème ordre



Figure I- 1 : Séchoir serre [4]

I.1.2. Séchoir Solaire Mixte SSM (Algérie) [5]

En 2019, A l'UDES, l'équipe de Mr ADJEBLIA, à travers un séchoir mixte, ont pu atteindre la température de 65 °C autour de produit. Ce dernier, séché, est de très bonne qualité. Ceci prouve que le séchoir solaire mixte de ce type est un bon choix pour le séchage des produits agro-alimentaire.

Tableau I- 2: SSM Algérie.

Nom et date et lieu	Hypothèse Et condition d'essai	Paramètre d'influence	Résultat
ADjebli, b et al , 2019 Solar Energy 193, 164-174 (UDES)	Sécheur solaire à effet de serre avec un capteur Forme de serre carré Toit incliné à 36 ° Plancher en bois carré Mur isolé teinté en noir Convection forcé Capteur a aire de dimension 1,5*0,9m	Dimension du capteur Température à la sortie du capteur	Température a l'intérieur de la serre 40 et 58 °C Température air sortant de capteur 50°C Température autour de produit 65°C Très bonne qualité des différents produits testé



Figure I- 2: Séchoir solaire mixte de l'intérieur et de l'extérieur [5].

I.1.3. Séchoir Solaire Indirecte SSID (Algérie) [6]

A travers l'étude qui a été faite par **S. BOUGHALI et al**, En 2008, on peut conclure que le séchage à convection forcée est mieux maîtrisé que celui à convection naturelle. L'écart de temps est de 4h entre un séchage avec 1 claie et un autre à 2 claies en mode naturel. Le temps de séchage en mode forcé est réduit considérablement par rapport au séchage naturel.

Tableau I- 3: SSID Algérie.

Nom et date et lieu	Hypothèse Et condition d'essai	Paramètre d'influence	Résultat
S. Boughali et al, 2008 Revue des Energies renouvelables SMSTS'08 Alger , 105 – 110	Région : Sahara Septentrional Est Algérien La surface du capteur est de 2.45 m ² Chambre de séchage : 1.65 × 0.60 × 1.00 La distance entre les claies est de 12 cm Appoint résistance de chauffe de 3.75 kW produit a séché Tomate Épaisseur de 1 cm	Convection naturelle Convection forcée Épaisseur de tranche de tomate	Force : homogénéisation de l'opération de séchage au niveau de tous les produits des deux claies Naturel: les échantillons de produits se trouvant aux alentours des claies sont plus ou moins grillés par rapport aux autres



Figure I- 4: Séchage forcé [6]



Figure I- 3: Séchage naturel [6]

I.1.4. Séchoir Solaire Indirecte SSID (Algérie) [7]

M. LAHBARI et al, En 2015, ont fait la Conception et Réalisation d'un séchoir solaire indirect. Les résultats obtenus à travers des plusieurs essais, est que le produit final est de bonne qualité. Cela implique que la réalisation du séchoir solaire indirect avec un capteur à eau est aisée et technologiquement faisable.

Tableau I- 4 : SSID Algérie

Nom et date et lieu	Hypothèse Et condition d'essai	Paramètre d'influence	Résultat
Miloud Lahbari et al , 2015, 5ème Séminaire Maghrébin sur les Sciences et les Technologies du Séchage	$T_{moy} = 55^{\circ}\text{C}$ Dans la chambre $T_{moy} = 130^{\circ}\text{C}$ au milieu de l'absorbeur Dimensions du capteur : 206x106cm, Chambre de séchage : 100x80x60cm. Produit pour le test du séchoir les tomates et les écorces d'orange	Isolation de la conduite qui relie la sortie du capteur avec la chambre de séchage	La forme finale teste avec succès pour séché plusieurs produits alimentaires Perte de masse très importante pendant une période courte pour un climat qui n'était pas trop chaud (19 au 24 mai 2015)



Figure I- 5: Forme finale du séchoir [7]

I.1.5. Séchoir Solaire Indirecte SSID (Monde) [8]

H. ESSAMHI et al, En 2017, ont réalisé une étude de Conception d'un capteur solaire à air pour un séchoir solaire indirect. À l'intérieur de la chambre de séchage la température maximale atteinte est de 48 °C, et à la sortie du capteur, elle est de 58 °C, avec une convection naturelle, ou le produit (les pores) garde sa couleur et son gout.

Tableau I- 5: SSID Monde

Nom et date et lieu	Hypothèse Et condition d'essai	Paramètre d'influence	Résultat	Conclusion :
Essamhi hajar et al En 2017 Energy Procedia 141 (2017) 29–33 (Maroc)	Séchoir solaire indirect Chambre de séchage équipée d'une cheminée Capteur à air plein sud incliné avec un angle de 34° Convection naturelle	Eclairement max durant la durée de séchage 943W/m ² Le cheminé	Température max dans la chambre de séchage atteint 48 °C Produit garde sa couleur et son gout	le système atteint une température max de 58 °C à la sortie du capteur en convection naturelle



Figure I- 6: Échantillons de poires avant séchage [8]



Figure I- 7: Échantillons de poires après séchage [8]

I.1.6. Séchoir Solaire Indirecte SSID (Monde) [9]

Une étude comparative entre deux types de séchoirs le Séchoir solaire indirect et le séchoir solaire mixte par **E. VIDANA-LOPEZ et al, En 2019** ont été Ils ont déduit que le SSM est plus efficace par rapport le SSID et vaut mieux utiliser soit un SSM en convection naturel ou SSID en convection forcée.

Tableau I- 6: SSID Monde.

Nom et date et lieu	Hypothèse Et condition d'essai	Paramètre d'influence	Résultat	Méthode
Lopez vidana et al En :2019 Renewable energy 147 (2020) 845-855 (Mexique)	Deux séchoirs SSM SSID en convection naturelle Teneur initial 93.36% des tomates coupé en tranche épaisse	Epaisseur de tranche de produit	Température max dans le SSM 70 °C Temps de séchage 2jr Température max dans le SSID 60 °C Efficacité du SSID est 8.80% et du SSM est de 10.66% Temps de séchage 3 jr	Henderson et Pabis.

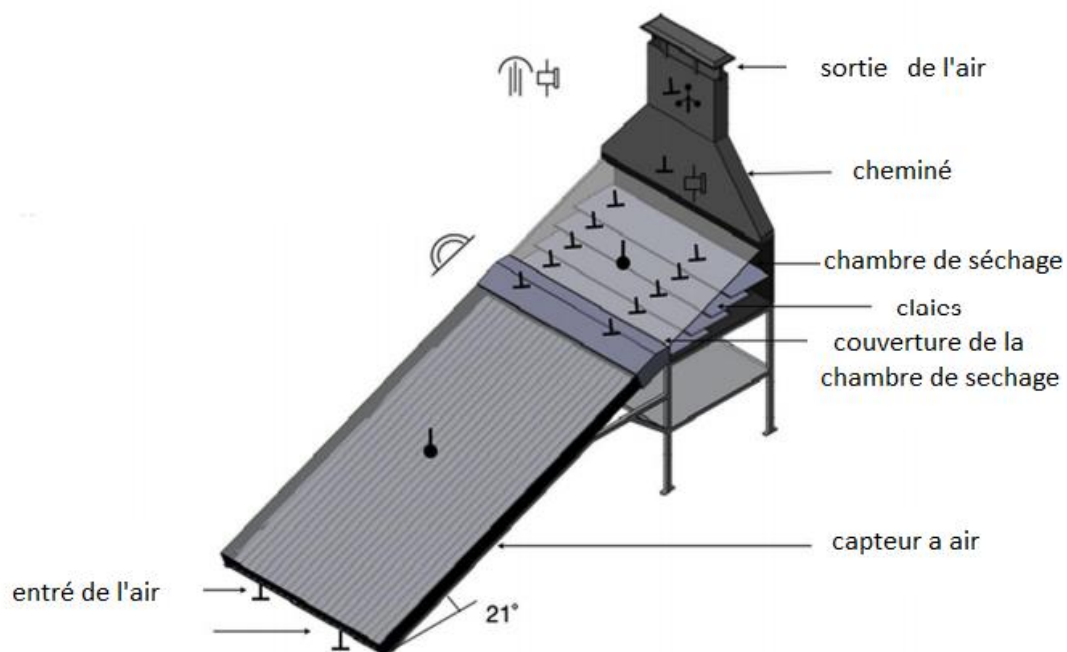


Figure I- 8: Vue isométrique et instrumentation du séchoir solaire mixte [9]

I.1.7. Séchoir Solaire Indirecte SSID (Monde) [10]

R. DAGHIGH et al, En 2020, ont établi une analyse sur plusieurs états d'un séchoir solaire couplé à un capteur PVTherme et à un collecteur à tubes sous vide, cette analyse montre que le capteur TSV est meilleure par rapport PVT dans les applications de séchage et le capteur TSV est plus rentable ou les températures de sortie PVT est de 46 °C, et le TSV attend les 58°C.

Tableau I- 7:SSID Monde.

Nom et date et lieu	Hypothèse Et condition d'essai	Paramètre d'influence	Résultat	Méthode
Roonak Daghigh et al En 2020 Solar Energy 199 (2020) 694–703 (iran)	Dimensions PVT 780×668×30 mm Deux capteur TSV de L=60 cm La température de sortie des collecteurs PVT et TSV est la même que la température d'entrée de la chambre de séchage.	L'éclairement	Température de sortie PVT=46 °C, TSV=58°C après 11 heures la teneur en humidité réduite 9 % par le PVT 4 % par le TSV	Plus de 14 modèles testés Midilli MR=a,exp kt bt



Figure I- 9: Vue d'ensemble du séchoir fabriqué [10]

I.1.8. Séchage avec système de stockage [11]

P. M. CHAUHAN et al, En 1996, qui ont fait une étude expérimentale des performances comparées d'un séchoir couplé à un chauffage solaire à air avec stockage sur lit de galet pour séché les coriandres à l'aide d'un modèle Empirique de séchage développé, ils ont utilisé deux capteur a air et la chaleur stockée dans les galets permet de chauffer de manière efficace l'air d'entrée (ambient) pour le séchage non ensoleillé des produits.

Tableau I- 8:SSID avec stockage de chaleur Monde.

Nom et date et lieu	Hypothèse Et condition d'essai	Paramètre d'influence	Résultat	Méthode
P. M. Chauhan et al En 1996 Pergamon 1359-4311(95)00038-0 (Inde)	Produit a séché : grain de la coriandre Deux capteur a air Système de stockage (galet) pour le séchage Condition climatique de Delhi inde en mode d'avril	Stockage de la chaleur Le temps de séchage hors soleil	La teneur moyenne en humidité peut être réduite de 28,2 % à 11,4 % en 27 heures cumulées d'ensoleillement La même quantité d'humidité peut être évaporée en 3 jours pendant les heures d'ensoleillement et de non-ensoleillement (31 heures en continue 2 jours et 1 nuit)	Modelé Empirique développé

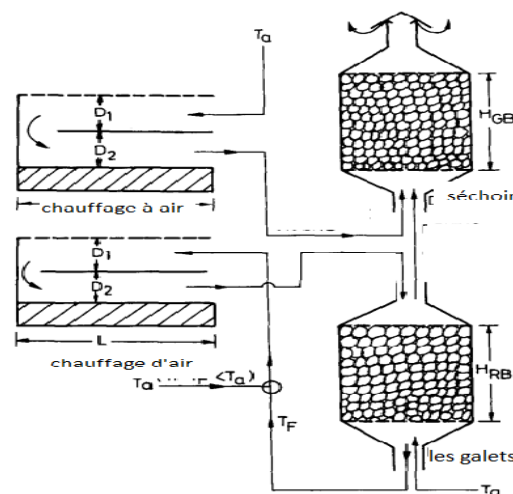


Figure I- 10: Représentation schématique de la cellule de séchage, du capteur a air et du stockage sur lit de galet pour le séchage de la coriandre [11]

I.1.9. Séchage avec système de stockage [12]

S. DEETO et al, En : 2017, un nouveau système expérimental d'un séchage solaire hybride avec stockage d'eau chaude pour le séchage des grains de café en couche mince, ou l'effet de type d'écoulement et l'effet du réservoir ont un impact sur la diminution de la teneur en eau, ce système aussi garantie le fonctionnement du séchoir en nocturne grâce au stockage.

Tableau I- 9: 8 : SSID avec stockage de chaleur Monde

Nom et date et lieu	Hypothèse Et condition d'essai	Paramètre d'influence	Résultat	Méthode
S. DEETO et al En : 2017 Renewable Energy RENE 9207 (Thaïlande)	Produit a séché : grains de café en couche mince La température de séchage max est de 45°C qui est la température optimale pour le séchage des grains de café Le stockage fait dans la cuve d'eau Réservoir de stockage 60L, 120L écoulement forcé, 60L, écoulement thermosiphon	Stockage de la chaleur	Le taux d'humidité initial des grains de café a été réduit de 55 à inférieur à 12% en 12 heures de séchage	Modèle Midilli $MR=a \exp(-kt^n)-bt$

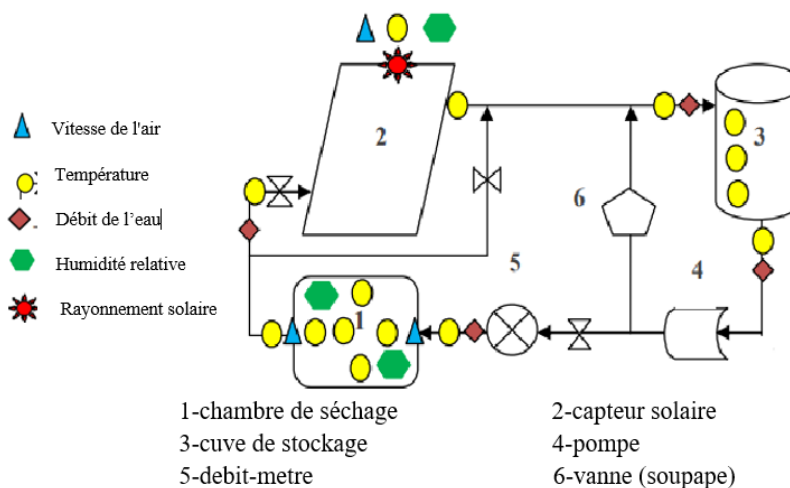


Figure I- 11: Le schéma du nouveau système de séchage [12]

I.1.10 Séchage hybride avec Système de stockage et un appoint à GPL [13]

S. MURALI et al, En 2019 ont porté une étude expérimentale d'un séchoir solaire hybride (GPL solaire) et comparatif entre l'hybride (GPL solaire) et le SSID sans appoint ou le système hybride et plus efficace donne un temps de séchage réduit par rapport un autre système SSID sans appoint à GAZ.

Tableau I- 10: Séchoir hybride avec Système de stockage Monde

Nom et date et lieu	Hypothèse Et condition d'essai	Paramètre d'influence	Résultat
S. Murali et al EN 2019 Renewable Energy S0960-1481(19) 31493-4 (Inde)	Dimension de la chambre du séchage 2.46 m *1 m*1.8m. Surface du capteur 8m ² équipé d'un système de poursuit manuel. Système hybride gaz-solaire. La cuve du stockage 200 L, 25 mm de la laine de verre pour assurer l'isolation Convection forcé	Appoint gaz Stockage de la chaleur	La température max à la sortie du capteur 73.5°C Température d'eau à l'intérieur de la cuve fixé à 80°C L'appoint fonction en continue Produit passe du 76.71% D'humidité à 15.38% dans 6 h du séchage



Figure I- 12: Séchoir hybride avec Système de stockage et un appoint a GPL [13]

I.1.11. Méthode de f-Chart [14]

K. KACI et al, En 2014, c'est un travail qui porte sur l'étude et la réalisation d'une installation à base de capteurs solaires devant fournir, quotidiennement 3 m³ d'eau à la température de 60 °C, L'estimation de la surface de captation par la méthode f chart et Φ-f chart à l'aide de la fraction de satisfaction des besoins énergétiques exprimés. Ils ont trouvé une surface totale de captation de 78 m², le dimensionnement a été réalisé par deux logiciels différents sous MATLAB et sous TRNSYS.

Tableau I- 11: Application de f-chart Algérie

Nom date et lieu	Hypothèse Et condition d'essai	Paramètre d'influence	Résultat	Méthode
K. KACI et al En 2014 Revue des Energies Renouvelables SIENR'14 Ghardaïa (2014) 135 – 139 (Algérie)	Capteurs solaires devant fournir, quotidiennement 3 m ³ à une température 60 °C Ballon de stockage de 4 m ³ Système de régulation d'appoint électrique Les capteurs solaires sont inclinés à 36 °	Les paramètres du capteur f la fraction de satisfaction La capacité de stockage Donnée du Site	Surface de capteur est de 1.6 m ² les résultats du dimensionnement ont donné une surface totale de captation de 78 m ²	la méthode de f chart et Φ-f chart

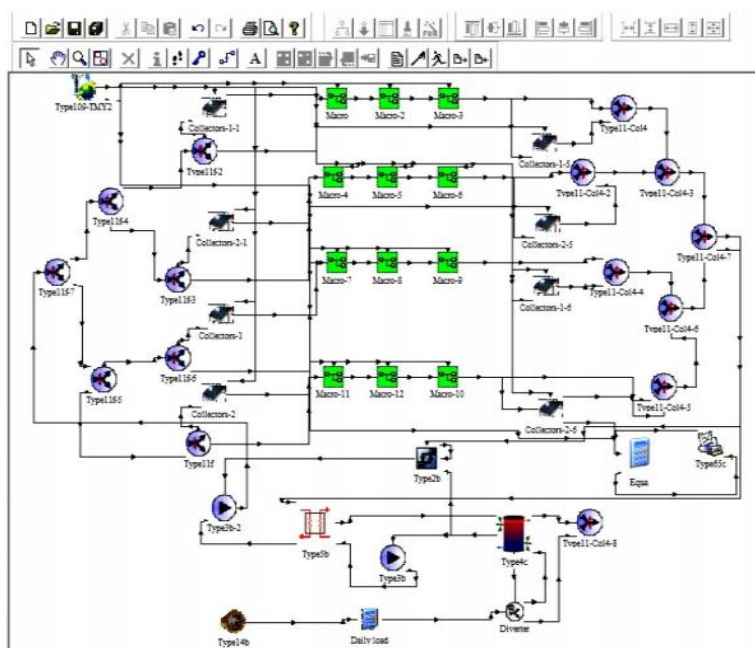


Figure I- 13: Modèle du système [14]

I.1.12. Méthode de f-Chart [15]

M. AFZANIZAM MOHD ROSLI et al, En : 2019, ont estimé 9,55 GJ de la fraction annuelle de la charge, fournie par l'énergie solaire est de 78,42%, donc la méthode f-chart permet de déterminer facilement la performance thermique des systèmes de chauffage solaire.

Tableau I- 12: Application de f-chart Monde

Nom date et lieu	Hypothèse Et condition d'essai	Paramètre d'influence	Résultat	Méthode
MOHD AFZANIZAM MOHD ROSLI et al, 2019 Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences 56, Issue 1, 59-67 (Malaisie)	FRU _g = 4 W/m ² , FR(τ _α) _n = 0,74 $\frac{(\tau\alpha)}{(\tau\alpha)_n} = 0,96, \frac{FR'}{FR} = 0,97,$ Latitude de 2,1944° N, Longitude de 102,2491° E	Les paramètres du capteur L'irradiation solaire Rendement du capteur	Cette recherche fournit un dimensionnement solaire basé sur. La charge annuelle totale de chauffage de l'eau chaude sanitaire à Melaka est de 9,55 GJ La fraction annuelle de la charge fournie par l'énergie solaire est de 78,42% a Melaka Malaisie	méthode de f chart

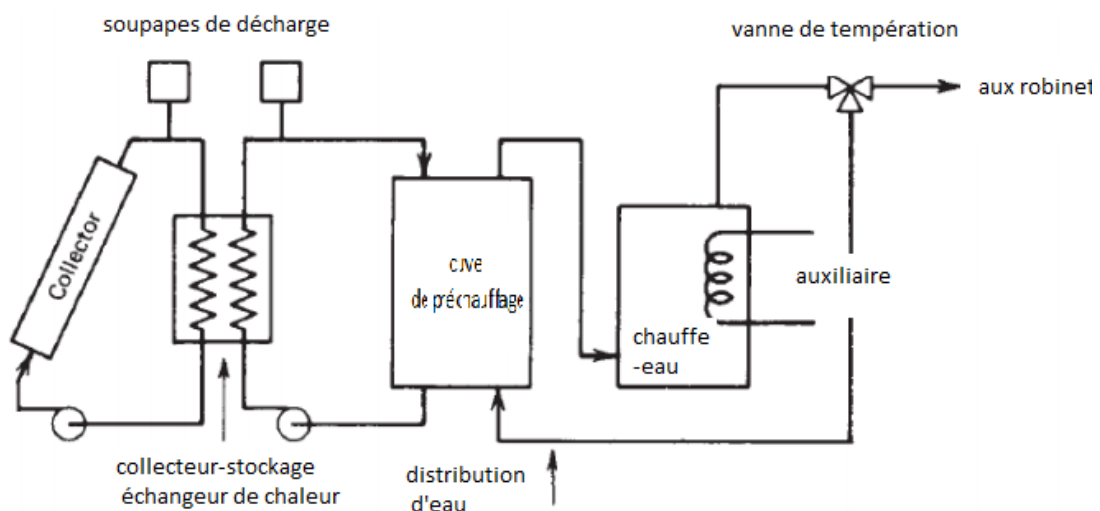


Figure I- 14: Configuration standard pour le chauffage de l'eau [15]

En 1977, S.A KLEIN et al publient le premier travail sur l'élaboration de la méthode *f*-chart pour les applications de chauffage solaire, [16].

Conclusion

L'essentiel des travaux ayant une relation directe avec notre sujet a été présenté dans ce chapitre aussi bien en Algérie, qu'au Maghreb et dans le reste du monde.

Toutes ces études, met à notre disposition des renseignements et des enseignements qui vont nous permettre de démarrer notre travail et d'atteindre nos objectifs.

Notre intérêt se porte sur Nous nous intéressons dans ce projet de recherche, à l'étude et dimensionnement d'un champ de captation destiné au séchage solaire à usage industriel pour le sud Algérien : cas de Biskra , wilaya à fort potentiel agricole et limitrophe à des wilayas à vocation agricole.

CHAPITRE II : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Introduction

L'opération de séchage peut se faire de plusieurs façons. Le critère de classification le plus utilisé repose sur le mode de transfert de chaleur entre le produit et la source de chaleur.

Les différents modes de séchage, à l'exception du séchage solaire, sont de grands consommateurs d'énergie (10-15 % de la consommation d'énergie industrielle mondiale) [37]. De plus, ces processus sont difficiles à réaliser notamment dans les zones rurales où l'alimentation en sources d'énergies conventionnelles (l'électricité, gaz...) est souvent difficile d'accès.

En Algérie, l'utilisation de l'énergie solaire est plus que rentable, car elle permet notamment de réduire le coût du processus de séchage.

II.1. Le séchage

Le séchage est une opération unitaire qui met en jeu un transfert de matière (le liquide quitte le produit et passe à l'état de vapeur) et un transfert thermique (responsable du changement d'état du liquide). Le séchage permet de convertir des denrées périssables en produits stabilisés, par abaissement de l'activité de l'eau. Il est souvent associé à des traitements (salage, sucrage, traitement après séchage avec une huile alimentaire ...) qui favorisent la diminution de l'activité de l'eau et limitent les réactions biochimiques et améliore la conservation du produit [20].

II.2. Séchage solaire

Il s'agit simplement de chauffer le produit par le rayonnement solaire direct (séchage direct) ou par l'intermédiaire d'un capteur solaire qui sert à capter et/ou concentrer le rayonnement solaire afin d'augmenter la température de l'air (séchage indirect). Ce mode de séchage est plus utilisé dans le domaine agro-alimentaire.

II.3. Intérêt du séchage [28]

- Faciliter la conservation par diminution de la teneur en eau.
- Faire des réserves des denrées alimentaires agricoles afin de les commercialiser durant les pénuries et d'étaler la consommation de celles-ci.
- Transformer des produits non vendus.
- Transporter et commercialiser plus facilement.

II.4. Classification des séchoirs solaires

En se basant sur la conception, les matériaux de construction utilisés, la forme des structures, les systèmes de sauvegarde de l'énergie et les unités de chauffage auxiliaires, plusieurs variantes de séchoirs solaires ont été utilisées pour le séchage des produits agroalimentaires.

II.4.1. Type de séchoir

Les séchoirs solaires sont classés généralement selon le mode de chauffage ou le mode de leur fonctionnement [17] ou classification basée sur l'incidence du rayonnement solaire sur le Produit [29]. Au sens large, les séchoirs solaires peuvent être classés comme suit :

- Les séchoirs naturels.
- Les séchoirs solaires directs.
- Les séchoirs solaires indirects.
- Les séchoirs solaires mixtes.
- Les séchoirs solaires hybrides.

II.4.2. Les séchoirs naturels

Ils utilisent directement le soleil et l'air, dont l'action n'est ni particulièrement favorisée, ni contrôlée. Le produit est réparti sur le sol. Ils sont orientés perpendiculairement au vent dominant.

Ce type de séchoir est fréquemment traditionnel dans les régions agricoles, pour satisfaire le problème de la conservation du produit en attendant la vente ou la consommation.

L'énergie solaire est utilisée pour chauffer directement les produits placés sur le plateau, Le temps de séchage est très important. Les produits doivent rester à l'extérieur pendant de longues périodes, généralement de 10 à 30 jours, selon la nature de la culture et les conditions climatiques du site.



Figure II- 1 Séchage naturel [28]

II.4.3. Les séchoirs solaires directs

Les séchoirs solaires directs sont des dispositifs simples à utiliser et à construire, Ils offrent plusieurs choix de conceptions, adapté aux petites et grandes quantités.

Description

Le séchoir solaire direct est composé d'une seule pièce qui sert à la fois de chambre de séchage et de capteur solaire [19], l'intérieur de séchoir est peint en noir pour augmenter la capacité d'absorption de la chaleur, le toit et/ou les côtes du séchoir sont de matière transparente est généralement en verre ou en plastique pour laissent pénétrer le soleil directement dans l'armoire de séchage [21],

Aussi, c'est un système qui transforme l'énergie solaire en énergie calorifique, par l'intermédiaire d'un fluide caloporteur (l'air) [18], ou le rayonnement solaire frappe directement les produits à sécher qui jouent alors le rôle d'absorbeur.

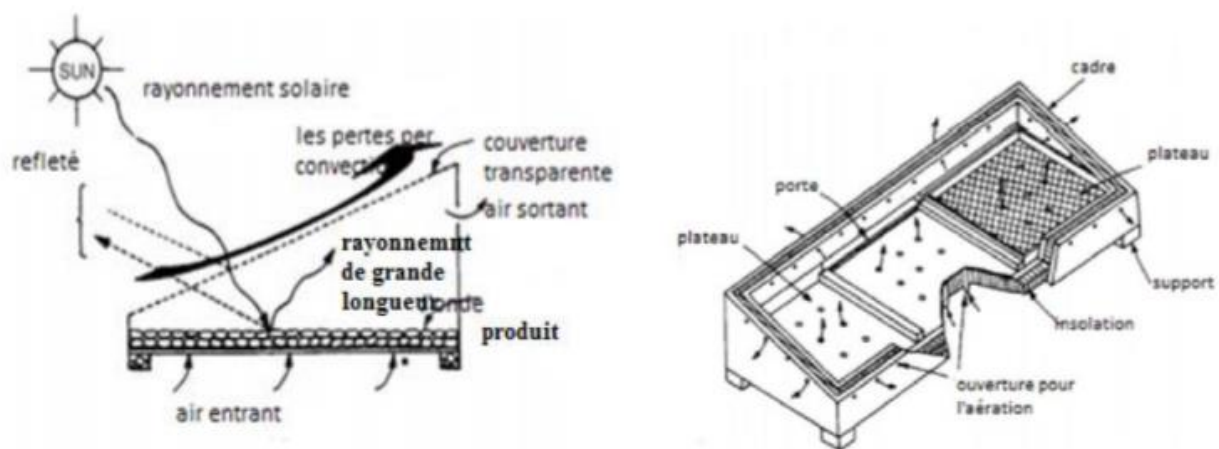


Figure II- 2: Les séchoirs directs [22]

Avantages

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

Inconvénients

- Dégradation de la qualité par exposition direct au soleil, destruction de la vitamine A et C, flétrissement, décoloration [23].
- Fragilité des matières en polyéthylène qu'il faut changer régulièrement.
- Température relativement élevée dans le séchoir qui contribue avec l'exposition au soleil à la destruction des nutriments [24].
- Faible circulation de l'air qui limite la vitesse du séchage et augmente les risques de moisissure.

II.4.4. Séchoir solaire indirect

Le séchoir solaire indirect se compose de deux parties : un collecteur qui convertit l'éclairement solaire en chaleur et une chambre de séchage qui contient le produit, L'air pénètre dans le collecteur ; il est chauffé et sa température augmente, L'air chaud monte par convection naturelle ou forcé jusqu'à la chambre de séchage, Il peut être doté d'un chauffage d'appoint ou d'un recyclage afin d'améliorer ses performances.

Avantages

- Le coût pas trop élevé, et la construction simple donc une possibilité de construction locale.
- Le produit n'est pas exposé directement au soleil.
- Une bonne qualité des produits séchés avec une garde des vitamines A et C.
- Son fonctionnement n'exige pas une source d'énergie électrique ou fossile.

Inconvénients

- La durée de séchage est très variable d'un type de séchoir a un autre et peut être supérieure à celle de séchoir naturel.

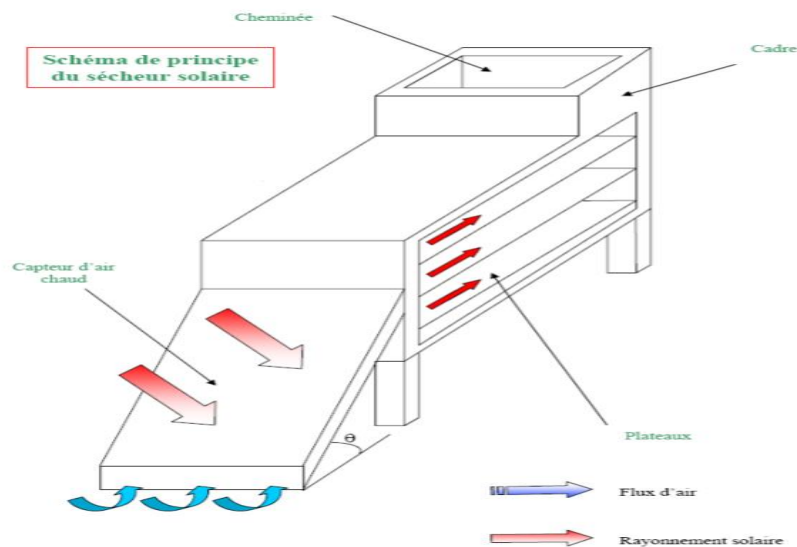


Figure II- 3: Schémas représentatif d'un séchoir solaire actif [25]

II.4.5. Les séchoirs mixtes

Les séchoirs solaires de type mixte fonctionnent sur le principe combiné des séchoirs solaires de type direct et indirect c'est-à-dire qu'ils disposent d'une chambre de séchage transparente et d'un dispositif de préchauffage de l'air.

Dans ces séchoirs, le transfert de chaleur s'effectue par convection de l'air sec vers la surface des aliments. Convection de l'air sec vers la surface de l'aliment et par rayonnement de la chambre de séchage. [30]

Ainsi, les séchoirs solaires de type mixte ont un rendement thermique relativement plus élevé que les systèmes susmentionnés. [29]

II.4.6. Les séchoirs solaires hybrides

Les séchoirs ont également été conçus avec un composant supplémentaire qui stocke la chaleur du soleil pendant les heures d'ensoleillement afin qu'elle puisse être libérée et utilisée en fin de soirée.

Dans un contexte plus large, les séchoirs solaires hybrides font référence à des systèmes de séchage dans lesquels le séchage solaire est combiné à d'autres techniques de séchage/sources de chaleur additionnelles telles que l'assistance solaire auxiliaire, système de stockage thermique auxiliaire, système de convection forcée ou pompes à chaleur mécaniques.

II.4.7. Les séchoirs solaires en mode passif

Dans les séchoirs solaires en mode passif, la circulation de l'air se fait naturellement par la force de la flottabilité, par des différences de pression ou par une combinaison des deux.

La plupart des séchoirs d'armoires et de serres fonctionnent en mode passif. Dans l'idéal, la conception consiste en une chambre de séchage avec des trous d'air pour l'entrée et la sortie de l'air et un système de ventilation. Trous pour l'entrée et la sortie de l'air et d'un couvercle transparent en verre ou en plastique. L'énergie solaire peut passer à travers la chambre de séchage. Elle est incidente sur une paroi opaque, Cela entraîne un effet de serre et l'énergie thermique générée provoque le séchage du produit alimentaire.

Les séchoirs solaires en mode passif sont les plus adaptés au séchage des fruits et légumes en petites quantités. Cependant, il existe un risque de surchauffe et de perte de qualité du produit. Les grains alimentaires tels que riz, le blé, et les fines couches de légumes comme les pommes de terre et les tomates sont séchés à l'aide de séchoirs à mode passif. [29]

II.4.8. Les séchoirs solaires en mode actif

Lorsque la circulation de l'air chauffé est obtenue artificiellement par des moyens externes, à l'aide de ventilateurs ou de pompes, on parle de séchoirs solaires. [31] Externe par des ventilateurs ou des pompes, les sécheurs solaires sont dits "actifs". Ces types de séchoirs sont plus adaptés aux produits de base tels que la papaye, le chou, le chou-fleur, la tomate, le kiwi et d'autres produits à forte teneur en humidité.

Grâce à une meilleure circulation de l'air, les séchoirs en mode actif permettent d'améliorer les taux de séchage. Le séchage hors-sol peut également être réalisé en intégrant des systèmes de chauffage de l'air appropriés. Cela peut à son tour garantir une meilleure qualité de produit avec des risques minimes de détérioration et de contamination. [31]

II.5. Capteur solaire plan

Un capteur solaire plan est un système thermique ouvert permettant de capter l'énergie solaire et transformer l'énergie reçue sous forme de rayonnement électromagnétique en chaleur, puis transfère cette chaleur à un fluide (généralement de l'eau ou de l'air).

L'utilisation de l'énergie solaire thermique dans diverses applications telles que :

- Chauffer les locaux et fournir l'eau chaude sanitaire.
- Activer la croissance des végétaux.
- Sécher les grains et les fourrages.
- Faire fonctionner des moteurs thermiques.
- Alimenter des machines de réfrigération.

Les capteurs solaires sont classés en deux types généraux de capteurs solaires :

II.5.1. Les capteurs plans

Les capteurs solaires plans sont les capteurs solaires les plus courants pour les systèmes de chauffage solaire de l'eau dans les maisons et le chauffage solaire des locaux. Un capteur plat typique est une boîte métallique isolée avec un couvercle en verre ou en plastique (appelé vitrage) et une plaque d'absorption de couleur sombre.

Les capteurs plans peuvent assurer des températures variant de 30°C à 150°C et ne nécessitent ni concentration du rayonnement incident, ni un suivi du soleil [21].

II.5.2. Les différents composants d'un capteur solaire à eau

Un capteur plan est constitué essentiellement d'une couverture transparente, d'un absorbeur, d'un fluide caloporteur, d'une isolation thermique et d'un coffre.

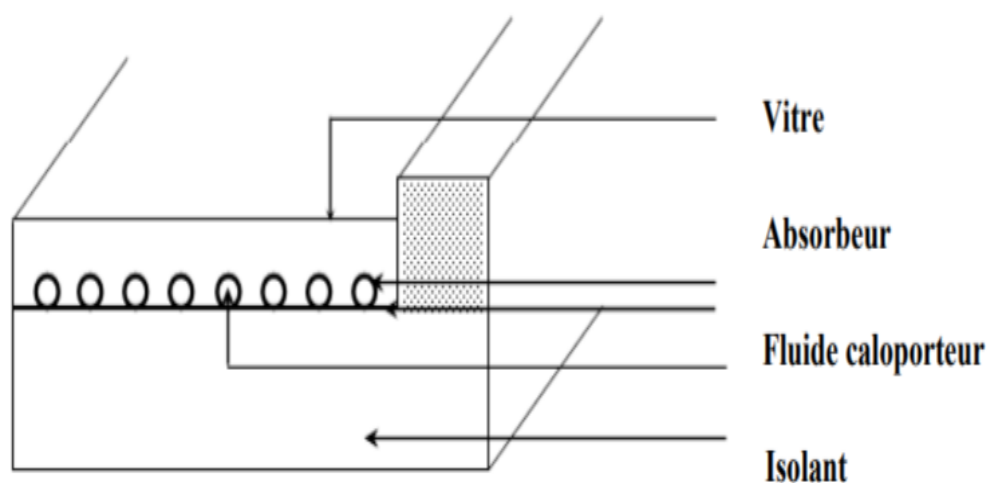


Figure II- 4: Composants d'un capteur [35]

II.5.2.1. L'absorbeur

L'absorbeur est l'élément central du capteur solaire, il absorbe le rayonnement solaire global de courtes longueurs d'onde et le convertit en chaleur [33], Il est constitué d'une plaque à laquelle sont intégrés des tubes à travers lesquels circule le caloporteur.

Le matériau constituant la plaque de l'absorbeur peut être soit métallique soit en matière plastique laquelle est utilisée uniquement dans le cas où un milieu agressif circule directement dans l'absorbeur tel est le cas de l'eau d'une piscine. L'emploi des matières plastiques entraîne des différences notables comparées aux métaux [33].

Dans le cas des métaux on utilise le cuivre, l'acier inoxydable, ou bien l'aluminium, qui ont de bonnes conductibilités thermiques.

L'absorbeur ne doit pas être trop mince. En pratique, on emploie généralement une feuille de cuivre ou d'aluminium de 0.2 mm d'épaisseur avec des variantes de 0.15 à 0.3 mm [34].

II.5.2.2. Le fluide caloporteur

Le fluide de travail est chargé de transporter la chaleur entre deux ou plusieurs sources de température. Il est choisi en fonction de ses propriétés physiques et chimiques, il doit posséder une conductivité thermique élevée, une faible viscosité et une capacité calorifique élevée. Dans le cas des capteurs plans, on utilise de l'eau à laquelle on ajoute un antigel (généralement de l'éthylène glycol) ou bien de l'air.

II.5.2.3. La couverture

C'est une surface faite d'un matériau transparent au rayonnement visible mais opaque au rayonnement I.R, qui provoque l'effet de serre. Les couvertures transparentes habituelles sont pour la plupart en verre simple ou traité qui laisse passer jusqu'à 95% de la lumière grâce à leur faible teneur en oxyde de fer, mais on peut trouver aussi des produits de synthèse, L'utilisation de la couverture transparente évite le refroidissement de l'absorbeur par le vent.

II.5.2.4. L'isolation thermique

L'absorbeur doit transmettre l'énergie captée au fluide caloporteur en évitant les pertes thermiques par conduction, convection et par rayonnement, des différentes parties périphériques vers l'extérieur. Les solutions adaptées sont les suivantes :

▪ Partie avant de l'absorbeur

La lame d'air située entre la vitre et l'absorbeur se comporte comme un isolant vis-à-vis de la transmission de chaleur par conduction. Cependant, si l'épaisseur de cette lame est trop grande, une convection naturelle intervient, d'où une perte d'énergie. Pour les températures usuelles de

fonctionnement du capteur plan, l'épaisseur de la lame d'air est de 2.5 cm [33]. En plaçant deux vitres, on limite les pertes dues à la réémission ainsi que les pertes par conduction et par convection [33].

▪ **Parties arrière et latérale**

Afin de limiter les pertes thermiques à la périphérie du capteur, on peut placer une ou plusieurs couches d'isolant qui doit résister et ne pas dégazer aux hautes températures. Sinon, il faut s'attendre à voir apparaître un dépôt sur la face intérieure de la couverture.

En plus d'utiliser un isolant pour minimiser les pertes thermiques, on peut augmenter la résistance de contact entre la plaque, l'isolant et le coffre en évitant de presser ces surfaces les unes contre les autres dans le cas d'une forte rugosité. Il peut exister entre les deux faces en contact un film d'air qui empêche la chaleur de passer facilement par conduction [33], [34], [18].

II.5.2.5. Le coffre

Le coffre fabriqué couramment en aluminium ou en bois, enferme l'absorbeur et l'isolation thermique du capteur, les protégeant ainsi contre l'humidité et les détériorations mécaniques.

II.6. Classification des capteurs [35]

On peut classer les capteurs selon :

II.6.1. Le fluide de travail utilisé

On peut trouver :

▪ **Des capteurs solaires à air**

Ce type de capteurs s'adapte aux appareils de chauffage à air pour le séchage des produits agro-alimentaires, et le chauffage des locaux.

▪ **Des capteurs solaires à eau**

Ils s'adaptent aux appareils de chauffage à liquide, y compris ceux dont le liquide entre en ébullition pendant le chauffage (la production de l'eau chaude sanitaire).

II.6.2. L'orientation des capteurs

Les capteurs solaires peuvent être:

▪ **Des capteurs fixes**

Ces capteurs ne bougent pas, ce qui est le cas des chauffe-eaux solaires domestiques.

▪ **Des capteurs à poursuite**

Le capteur solaire peut être muni d'un dispositif de guidage automatique dans la direction de provenance du flux lumineux, ce qui va améliorer le rendement du capteur.

II.6.3. Les types des composants

Les composants des collecteurs diffèrent d'un capteur à un autre, on peut classer les capteurs suivant :

➤ La couverture

Elle peut exister ou pas, on peut alors trouver :

▪ Les capteurs solaires plans non vitrés

Ils sont constitués d'un réseau de tubes peints en noir en plastique résistant aux rayons U.V, sans couverture transparente. Ils sont essentiellement utilisés pour le chauffage de l'eau des piscines extérieures en été et assurent des températures relativement basses de l'ordre de 30 à 35°C. [35]

▪ Les capteurs solaires plans vitrés

Le vitrage crée un effet de serre qui permet d'atteindre des températures de 70°C à 90°C et augmente ainsi le rendement. Le capteur solaire peut avoir une ou plusieurs couvertures transparentes.

➤ L'absorbeur

L'absorbeur peut être classé suivant sa forme. On trouve :

- Les capteurs plans.
- Les capteurs à cavités.

II.7. Fonctionnement d'un capteur solaire plan

Le principe de fonctionnement d'un capteur solaire plan est très simple (figure suivante) [36] :

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.

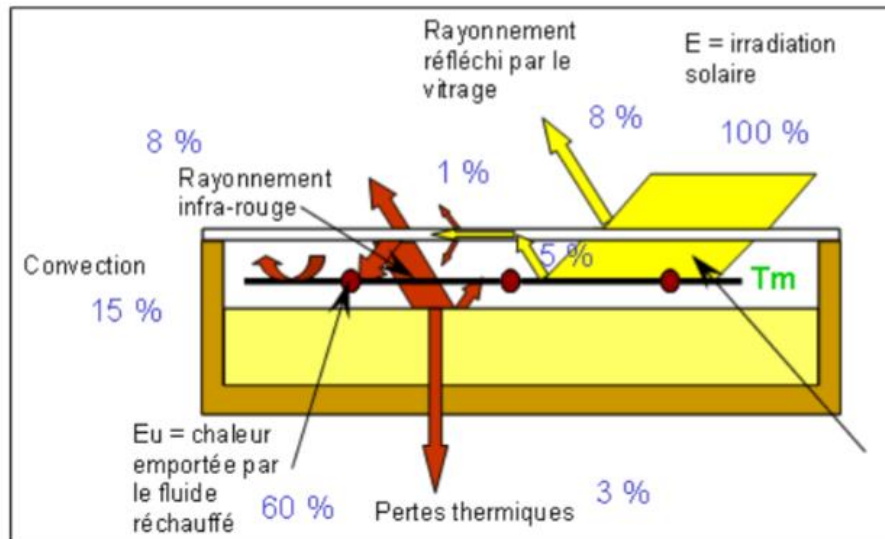


Figure II- 5: Fonctionnement des capteurs [35]

II.8. Les capteurs solaires a tube sous vide

Un capteur solaire plan à tubes sous vide est composé de deux tubes concentriques en verre qui contiennent du vide entre eux. Un absorbeur est soudé sur la paroi externe du tube en verre interne. L'absorbeur est généralement recouvert d'une couche sélective pour améliorer la quantité d'énergie solaire absorbée. Donc, il se chauffe et transfère sa chaleur par conduction à travers une ailette (généralement en cuivre) soudée sur l'absorbeur, ou directement au fluide qui circule à l'intérieur. La couche sélective se caractérise par le fait qu'elle possède des propriétés différentes pour les faibles (rayonnement solaire) et longues (rayonnement infrarouge) longueurs d'onde (forte absorptivité pour les faibles longueurs d'onde et faible émissivité pour les longues longueurs d'onde) [38], il existe plusieurs types des capteurs a tube sous vide :

Tableau II- 1: Représente les différente types des capteur a tube sous vide [38]

Type	Fonctionnement	Avantages	Inconvénients
Tube sous vide à tube en U	L'absorbeur capte le rayonnement solaire reçu et cède sa chaleur à une ailette qui elle-même fournit sa chaleur au tube en U, et par la suite au fluide caloporteur.	Peut atteindre de hauts rendements surtout lorsqu'il se compose de deux tubes en U	N'est pas très utilisé à cause de sa géométrie compliquée et donc une grande maintenance.
Tube sous vide à caloduc	Le liquide antigel s'évapore et monte pour céder sa chaleur au fluide caloporteur.	Coût faible, simple à installer et ne nécessite pas une grande maintenance.	Courte durée de vie à cause de l'accumulation des gaz incondensables.

Tube sous vide à circulation directe ouvert d'un seul côté	Le fluide caloporteur circule directement dans le tube sous vide ouvert d'un côté et fermé de l'autre côté.	Rendement plus élevé par rapport aux cas précédents, grâce au transfert thermique direct.	Génère des grandes pertes de charge à cause de l'inversion de l'écoulement.
Tube sous vide à circulation directe ouvert des deux côtés	Le fluide caloporteur circule directement dans le tube sous vide. Il entre d'une extrémité et sort de l'autre côté	Rendement élevé et génère moins de pertes de charge.	Problème d'expansion thermique qui cause l'explosion des tubes.

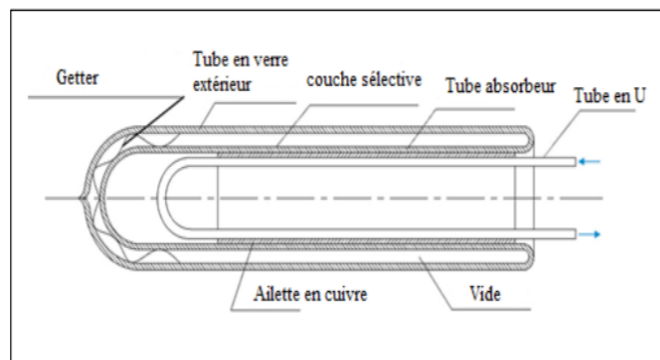


Figure II- 6: Collecteur solaire à tube sous vide avec un tube en U [38]

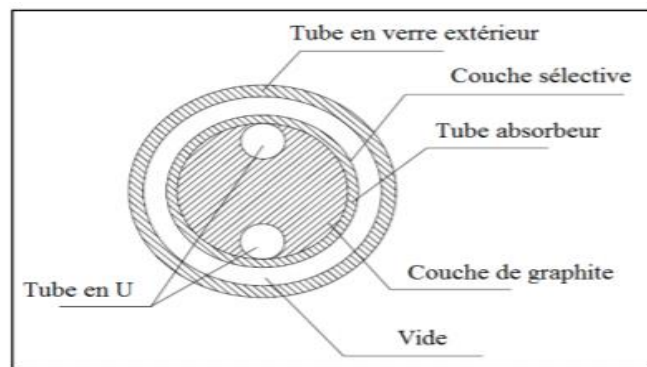


Figure II- 7: Coupe transversale d'un tube sous vide à tube en U rempli de graphite compressé [38]

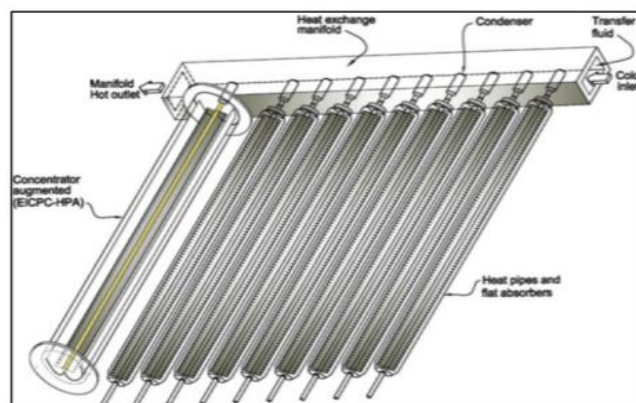


Figure II- 8: Collecteur solaire à tubes sous vide (avec caloducs) [38]

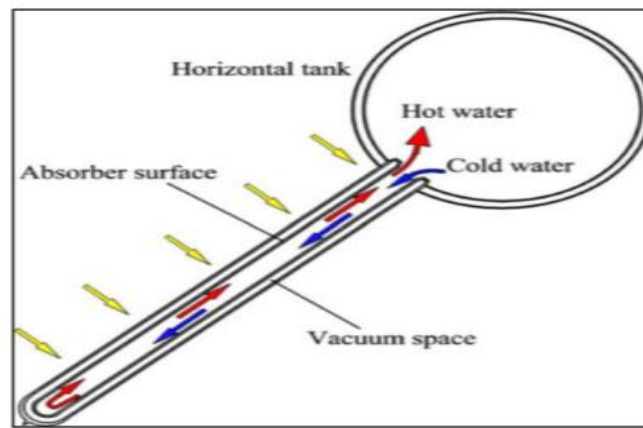


Figure II- 9: Circulation naturelle de l'eau dans un tube sous vide ouvert d'un seul côté [38]

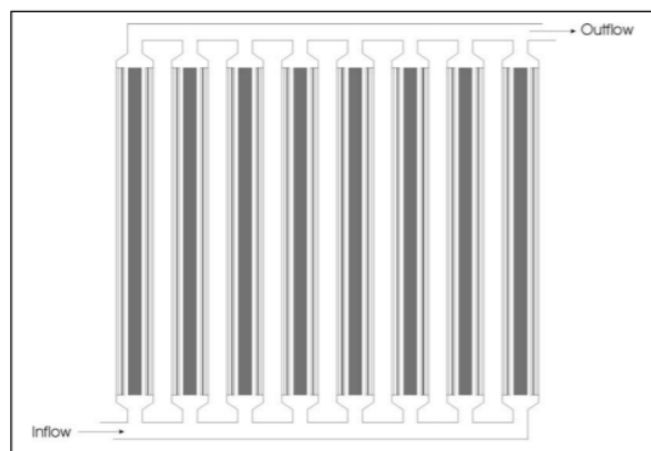


Figure II- 10: Les tubes sous vide placés horizontalement[38]

Conclusion

Dans ce chapitre, nous nous sommes attachés à introduire le contexte de notre travail qui se ramène aux séchoirs solaires. Une description et définition du séchage, et ces différents types des séchoirs solaires ainsi que les capteurs solaires. A travers cette étude on fixe le choix de type de notre séchoir à étudier dans le chapitre suivant.

**CHAPITRE III : DESCRIPTION DU SYSTEME ET MODELISATION
DE *f*-CHART**

Introduction

Ce présent travail est une application à basses températures. Ce chapitre comporte essentiellement sur la partie de description et modélisation du système de séchage solaire de produits agricole pour la région de Biskra. Notre objectif est de permettre un séchage continu, avec une température stable et réglable, et cela afin de permettre un séchage efficace et avoir un produit de bonne qualité nutritive et sans pertes de produits.

III.1. Description du système

La figure suivante présente le schéma du système solaire de séchage étudié. Celui-ci utilise l'eau pour la collecte comme pour le stockage d'énergie solaire.

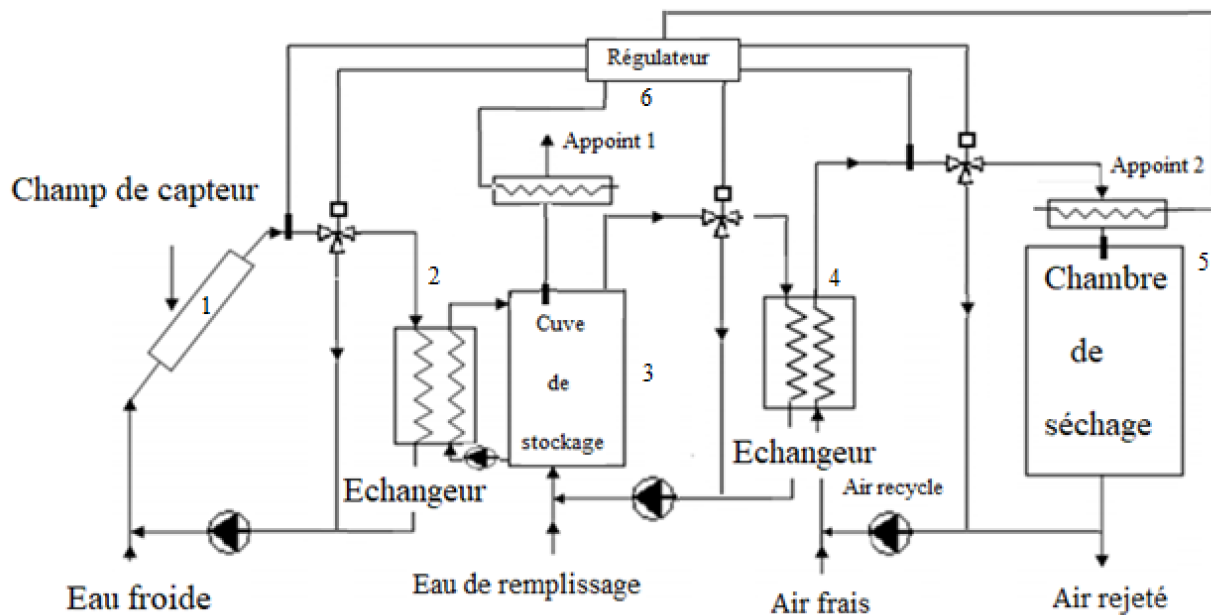


Figure III- 1: Représentation schématique du système solaire de séchage étudié

Les capteurs solaires plans (1) sont utilisés pour transformer les rayonnements solaires incidents en énergie thermique.

Celle-ci est stockée (3) sous forme de chaleur sensible dans une cuve d'eau avec un appoint à gaz pour satisfaire directement le besoin en eau chaude.

Un échangeur de chaleur est placé entre le champ et la cuve (2), et le deuxième situé entre la cuve de stockage et la chambre de séchage (4).

Le deuxième appoint fournit éventuellement de l'énergie supplémentaire quand la température de l'air à l'entrée de la chambre de séchage ne satisfait pas les besoins du produit pour le séché.

L'équipement contient aussi des appareils de contrôles et de régulation (6), des soupapes de sécurité de pression, des vannes, des pompes et des tuyaux.

III.2. Caractéristique des capteurs (fiche technique)

Pour le cas de notre étude, nous avons choisi deux types de capteur, les tableaux ci-dessous présentent les différents paramètres dont nous avons besoin pour la suite des calculs :

III.2.1. Capteur plan a eau

Tableau III- 1: fiche technique auroTHERM pro VFK 125 V [44]

Nom du capteur	auroTHERM pro VFK 125 V
surface brute	2,51 m ²
surface d'ouverture	2.35 m ²
rendement collecteur	56,0 %
rendement optique η_0	74,0 %
facteur de dissipation thermique K1	3,89 W/m ² K
facteur de dissipation thermique K2	0,018 W/m ² K ²

III.2.2. Capteur plan a tube sous vide

Tableau III- 2: fiche technique JUNKERS VK 280-1 [45]

Nom du capteur	JUNKERS VK 280-1
surface brute	2.66 m ²
surface d'ouverture	1.658 m ²
Surface d'absorption effective	1,421 m ²
rendement collecteur	60 %
rendement optique η_0	75 %
facteur de dissipation thermique K1	1.5 W/m ² K
facteur de dissipation thermique K2	0.005 W/m ² K ²

III.3. Le choix du site

Le choix du site s'est porté sur la wilaya de BISKRA. C'est une région agricole et elle est proche de trois important pôles agricoles à savoir : 'M'SILA', 'BATNA' et 'EL OUED'. La région de la Hodna de MSILA est l'une des zones les plus productives d'abricot en Algérie. Cette culture stratégique est héritée d'une génération à une autre. Plusieurs variétés cultivées sont très adaptées et très productives. Une partie du surplus de production est transformé en abricot sec, L'abricot dans le Hodna, a une place très importante dans la vie quotidienne de la population locale.

La wilaya de M'Sila qui constitue l'une des régions les plus prometteuses en matière de production agricole. Elle occupe la deuxième place à l'échelle nationale derrière la wilaya de Batna avec une superficie qui est passée de 2 386 ha en 1994 à 6310 ha en 2004. L'abricot dans le Hodna, a une place très importante dans la vie quotidienne de la population locale. [42]

La figure (III-2) représente la carte de la région de BISKRA.

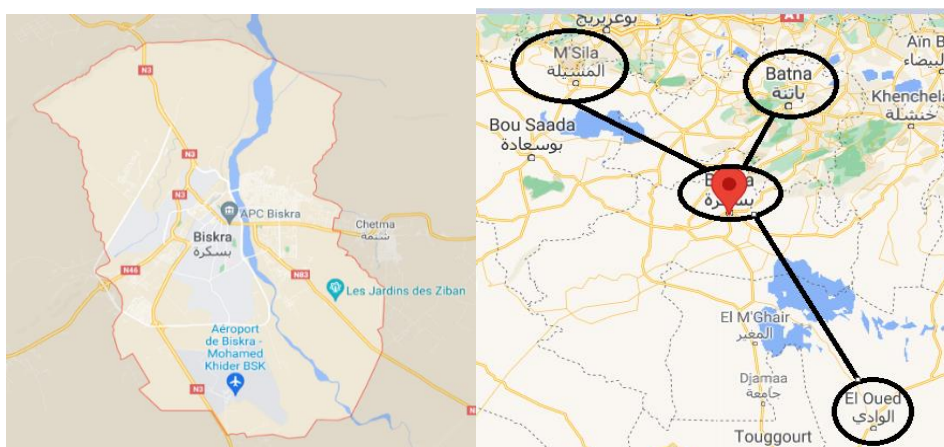


Figure III- 2: Carte de la région BISKRA

Le tableau suivant présente les coordonnées du site de BISKRA

Tableau III- 3: coordonnée du site

Latitude	Longitude	Altitude	Albédo
34.80°	5.73°	81 m	0.3

III.3.1. Le produit à séché

Le produit à séché est L'abricot, L'abricot est le fruit d'un arbre généralement de petite taille appelé abricotier, de la famille des Rosacées. Le nom scientifique de l'abricotier est : Prunus armeniaca (Prune d'Arménie). En Afrique, l'Algérie occupe la première place avec 25% de la production africaine, la deuxième et la troisième place reviennent au Maroc et à l'Afrique du Sud avec des tonnages représentant respectivement 21,5% et 20,8% de la production africaine (F.A.O., 2009). [42]



Figure III- 3: Abricots entier et en coupe

L'abricot contient de : 86,1 g d'eau et l'abricot sec de 29.4 g d'eau pour 100 g (d'après ANSES 2013). Les travaux d'études expérimentales sur le séchage de l'abricot ont permis d'établir des mesures sur les durées et les vitesses de séchage d'une monocouche d'oreillons d'une seule variété d'abricots. On fait varier la température et la vitesse de l'air respectivement dans les intervalles, 55-75 °C et 1.2-2.0 m/s. [42]

III.4. Estimation de l'irradiation global et diffus sur le plan horizontal [39]

La littérature propose plusieurs relations. Pour l'Algérie, Capderou (1987) en propose, pour les moyennes mensuelles les relations suivantes :

$$\frac{H_{gh}}{\bar{H}_{cc}} = 0.41 + 0.58 \bar{\sigma} \quad (III.1)$$

$$\frac{H_{dh}}{\bar{H}_{cc}} = 0.53 - 0.35 \bar{\sigma} \quad (III.2)$$

Pour l'Estimation des irradiances par ciel clair par le modèle de Bernard et al nous détermine \bar{H}_{cc} [39]

$$\bar{H}_{cc} = 3250[2 + \tan(\varphi + 0.01(18 - \delta)^2)]\cos^2(\varphi - \delta) \quad (III.3)$$

Avec la déclinaison du soleil (δ) donnée par :

$$\delta = 23.45 \sin \left[\frac{360}{365} (Nj - 81) \right] \quad (III.4)$$

III.5. La modélisation de la méthode de f-CHART

f-chart est la méthode de résolution la plus connue, car elle est simple, précise et facile à utiliser. Elle a été développée par Klien et Beckman [38]. Elle est utilisée pour estimer la performance thermique annuelle des systèmes de chauffage (utilisant un liquide ou un gaz) où la température minimale de livraison de l'énergie proche de 20°C.

Les variables qui doivent être prises en compte dans f-chart sont :

- La surface des capteurs,
- Les types de capteurs,
- La capacité de stockage, les débits de fluide et la taille des échangeurs de chaleur. [40]

L'efficacité d'un système de production d'eau chaude sanitaire avec stockage peut être évaluée à l'aide de la méthode de calcul de la fraction de satisfaction (fraction solaire), [40].

Cette méthode permet de calculer, sur une base mensuelle, la quantité d'énergie fournie par un système de chauffage solaire avec stockage, en fonction des valeurs mensuelles des irradiances solaire incidente et des besoins de chauffage L_C et les besoins d'eau chaude sanitaire L_{ECS} , en tenant compte de la température ambiante T_a et de la température de l'eau froide T_m .

III.5.1. Calcul des variables X ET Y

La fraction de satisfaction est une équation qui contient 2 paramètres adimensionnels qui sont X et Y et sont définis par :

$$Y = \frac{A_c \times F'_R \times U_L \times (T_{ref} - \bar{T}_d) \Delta t}{L} \quad (III.5)$$

Y : représente les pertes thermiques mensuelles d'un capteur porté à une température de référence (100°C), normalisées par les besoins moyens journaliers.

$$X = \frac{A_c \times F'_R \times (\bar{\tau}\bar{\alpha})_e \times H_\beta \times N}{L} \quad (III.6)$$

X : représente l'énergie absorbée en moyenne par jour, normalisée par rapport aux besoins moyens journaliers.

III.5.2. Température moyenne diurne

La température moyenne diurne est estimée à partir des températures minimale, moyenne et maximale moyennes données par l'ONM pour le site et le mois considéré. [43]

III.5.3. f-CHART pour les systèmes liquides [38]

La fraction f de la charge totale mensuelle fournie par le système de chauffage solaire des locaux et de l'eau est donnée en fonction de X et Y comme elle est présentée dans la figure suivante,

La relation entre X, Y et f sous forme d'équation est la suivante :

$$f = 1.029Y - 0.065X - 0.245Y^2 + 0.0018X^2 + 0.0215Y^3 \quad (III.7)$$

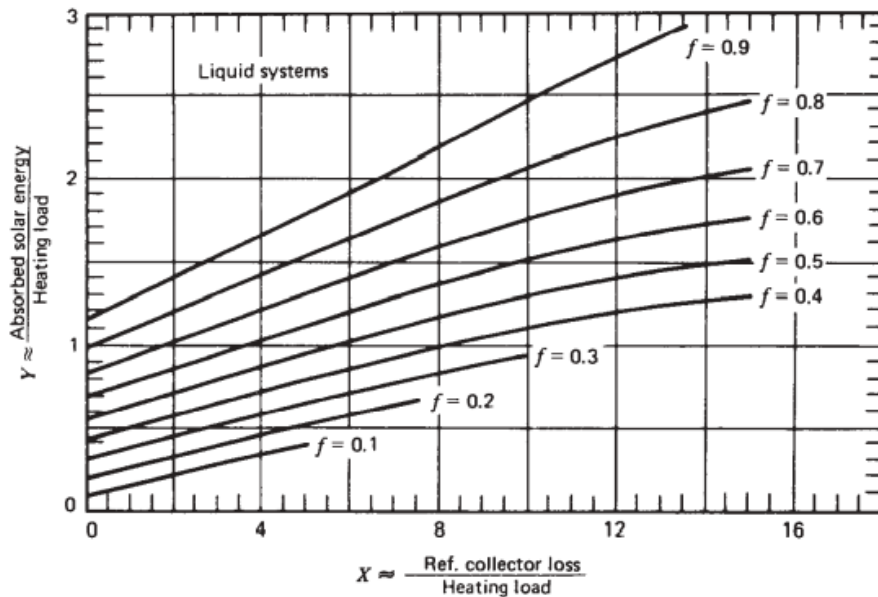


Figure III- 4: f-chart pour les systèmes utilisant des supports liquides de transfert et de stockage de la chaleur, Beck-man et al.1977[40]

La méthode a été développée en tirant parti des résultats d'un grand nombre de simulations sur TRNSYS avec les conditions suivantes [39] :

- Débit massique : $0.015 \text{ kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$
- Capacité du stockage : 50 à 100 kg/m² de surface de captation (Pour notre cas en considérant une capacité de stockage de 75 kg/m²)
- Efficacité de l'échangeur : $1 < \frac{\varepsilon C_{min}}{UA} < 5$
- $< Y < 3$ et $0 < X < 18$

III.5.4. L'angle horaire au lever du soleil

$$\omega_s = a \cos(-\tan\varphi \tan \delta) \quad (III.8)$$

III.5.5. Coefficient de correction géométrique journalier pour l'éclairement direct

$$\bar{R}_b = \frac{\cos(\varphi - \beta) \cos \delta \sin \omega_s + \omega_s \sin((\varphi - \beta) \sin \delta)}{\cos \varphi \cos \delta \sin \omega_s + \omega_s \sin \varphi \sin \delta} \quad (III.9)$$

III.5.6. Coefficient de correction géométrique journalier global

$$\bar{R} = \bar{R}_b \left(1 - \frac{\bar{H}_d}{\bar{H}}\right) + \frac{\bar{H}_d}{\bar{H}} \frac{1 + \cos \beta}{2} + \rho \frac{1 - \cos \beta}{2} \quad (III.10)$$

III.5.7. Correction des produits $(\tau\alpha)_e$ par :

Pour le diffus ciel $\theta = \pi/3$ (III.11)

Pour le diffus sol $\theta = 89.8 - 0.5788 \beta + 0.002693 \beta^2$ (III.12)

Pour le direct $\theta = a \cos[\cos(\varphi - \beta) \cos \delta \sin \bar{\omega} + \sin((\varphi - \beta) \sin \delta]$ (III.13)

III.5.8. Le facteur $k\tau\alpha$:

dû à l'effet cosinus, et il est intervenu pour la correction du rapport $\frac{(\bar{\tau}\alpha)}{(\tau\alpha)_n}$,

Il est défini par :

$$\frac{(\tau\alpha)_\theta}{(\tau\alpha)_n} = 1 - 0.17 \left(\frac{1}{\cos \theta} - 1 \right) = 1.17 - \frac{0.17}{\cos \theta} \quad (III.14)$$

III.5.9. Les produits $(\tau\alpha)_e$ mensuels moyens :

$$\frac{(\bar{\tau}\alpha)}{(\tau\alpha)_n} = \frac{\bar{R}_b}{\bar{R}} \left(1 - \frac{\bar{H}_d}{\bar{H}}\right) \frac{(\tau\alpha)_b}{(\tau\alpha)_n} + \frac{1 + \cos \beta}{2\bar{R}} \frac{(\tau\alpha)_{dc}}{(\tau\alpha)_n} + \rho \frac{1 - \cos \beta}{2\bar{R}} \frac{(\tau\alpha)_{ds}}{(\tau\alpha)_n} \quad (III.15)$$

$\frac{(\bar{\tau}\alpha)}{(\tau\alpha)_n}$: Rapport de correction de produit transmission du vitrage et l'absorptivité.

III.5.10. Correction de débit :

Les performances des systèmes dont la capacité de stockage est comprise entre 37,5 et 300 litres/m² peuvent être déterminées en multipliant le nombre X sans dimension par un facteur de correction de la taille du stockage X_c/X.

Pour faire la correction, le rapport est le suivant [40] :

$$\frac{X_c}{X} = \left(\frac{\text{la capacité de stockage réelle}}{\text{la capacité de stockage standard}} \right)^{-0.25} \quad (III.16)$$

$$\text{Pour} \quad 0.5 \leq \left(\frac{\text{la capacité de stockage réelle}}{\text{la capacité de stockage standard}} \right) \leq 4$$

f-chart a été développé pour une capacité de stockage standard de 75 litres d'eau stockée par mètre carré de surface du capteur [38]

$$\frac{X_c}{X} = \left(\frac{\text{la capacité de stockage réelle}}{75} \right)^{-0.25} \quad (III.17)$$

III.5.11. Correction de la charge Taille de l'échangeur de chaleur

$$\frac{Y_c}{Y} = 0.39 + 0.65 \exp \left(- \frac{0.139(UA)_h}{\varepsilon_L C_{min}} \right) \quad (III.18)$$

$$\text{Pour} \quad 0.5 \leq \frac{\varepsilon_L C_{min}}{(UA)_h} \leq 50$$

III.5.12. Correction du rapport $\frac{FR}{FR}$

Cette correction intervenue dans le cas où on' un raccordement de plusieurs capteurs solaires thermiques en parallèle :

$$\frac{FR}{FR} = \left[1 + \left(\frac{Ac FRUL}{(\dot{m}Cp)_c} \right) \left(\frac{(\dot{m}Cp)_c}{\varepsilon(\dot{m}Cp)_{min}} - 1 \right) \right]^{-1} \quad (III.19)$$

$\frac{FR}{FR}$: Rapport de correction d'efficacité de l'absorbeur.

III.5.13. La surface de captation

En posant :

$$C_1 = \frac{F'_R \times U_L \times (T_{ref} - \bar{T}_d) \Delta t}{L} \quad (III.20)$$

$$\text{Et} \quad C_2 = \frac{F'_R \times (\bar{\tau}\alpha)_e \times H_\beta \times N}{L} \quad (III.21)$$

Donc : $Y = A_c \times C_1$ (III.22)

Et $X = A_c \times C_2$ (III.23)

La formule de fraction f devient :

$$f = 1.029(A_c \times C_1) - 0.065(A_c \times C_2) - 0.245(A_c \times C_1)^2 + 0.0018(A_c \times C_2)^2 + 0.0215(A_c \times C_1)^3$$

(III.24)

$$f = (1.029 \times C_1 - 0.065 \times C_2) \times A_c + (0.0018 \times C_2^2 - 0.245 \times C_1^2) \times A_c^2 + (0.0215 \times C_1^3) \times A_c^3$$

(III.25)

$$p(3) = (0.0215 \times C_1^3) \times A_c^3 + (0.0018 \times C_2^2 - 0.245 \times C_1^2) \times A_c^2 + (1.029 \times C_1 - 0.065 \times C_2) \times A_c - f = 0$$

(III.26)

c'est un polynôme de degré 3 avec A_c , C_1 et C_2 sont des constantes.

III.5.14. Correction série parallèle

Le montage série est présenté comme suit :

$$[FR(\tau\alpha)e]_{cor} = FR(\tau\alpha) [1 - (1-K)^{NC} / NK]$$

(III.27)

Et $[FRU_g]_{cor} = FRU_g [1 - (1-K)^{NC} / NK]$ (III.28)

Avec : $K = \frac{A FRU_g}{\dot{m}C_p}$

NC : nombre de capteurs en série.

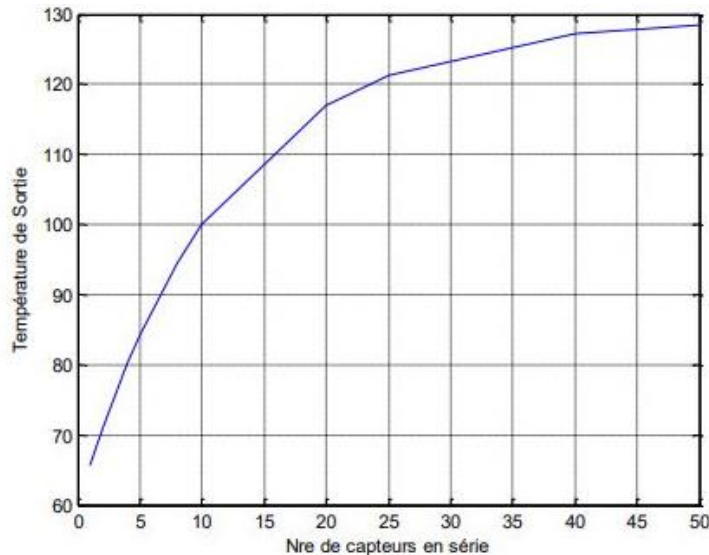


Figure III- 5: . Courbe représente l'évolution de température de sortie du champ selon la nombre de capteur en série. [46]

Le nombre de capteur en série en le déterminant a partie de la figure ci-dessous selon la température voulu à la sortie du champ de captation.

III.5.15. Les besoins en séchage

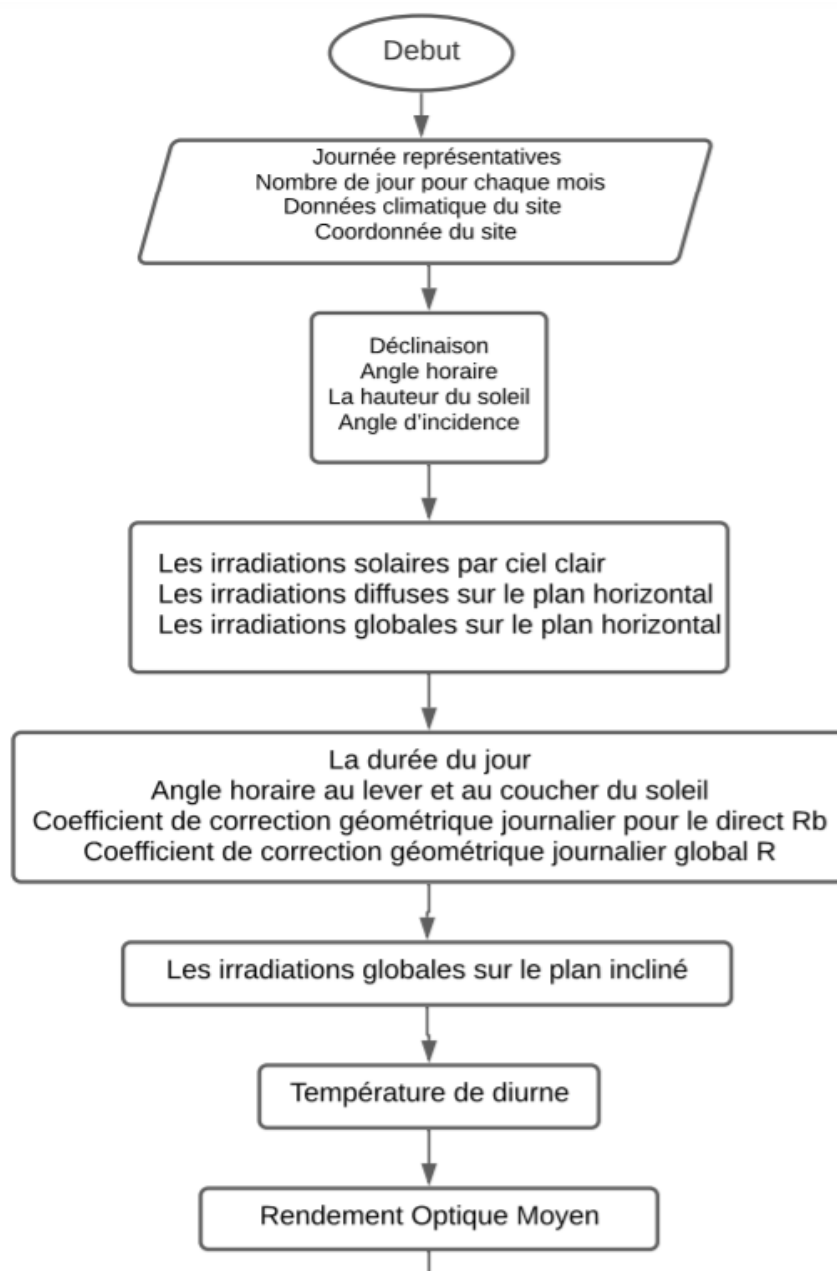
C'est la chaleur utilisée dans la chambre de séchage. Elle est donnée par :

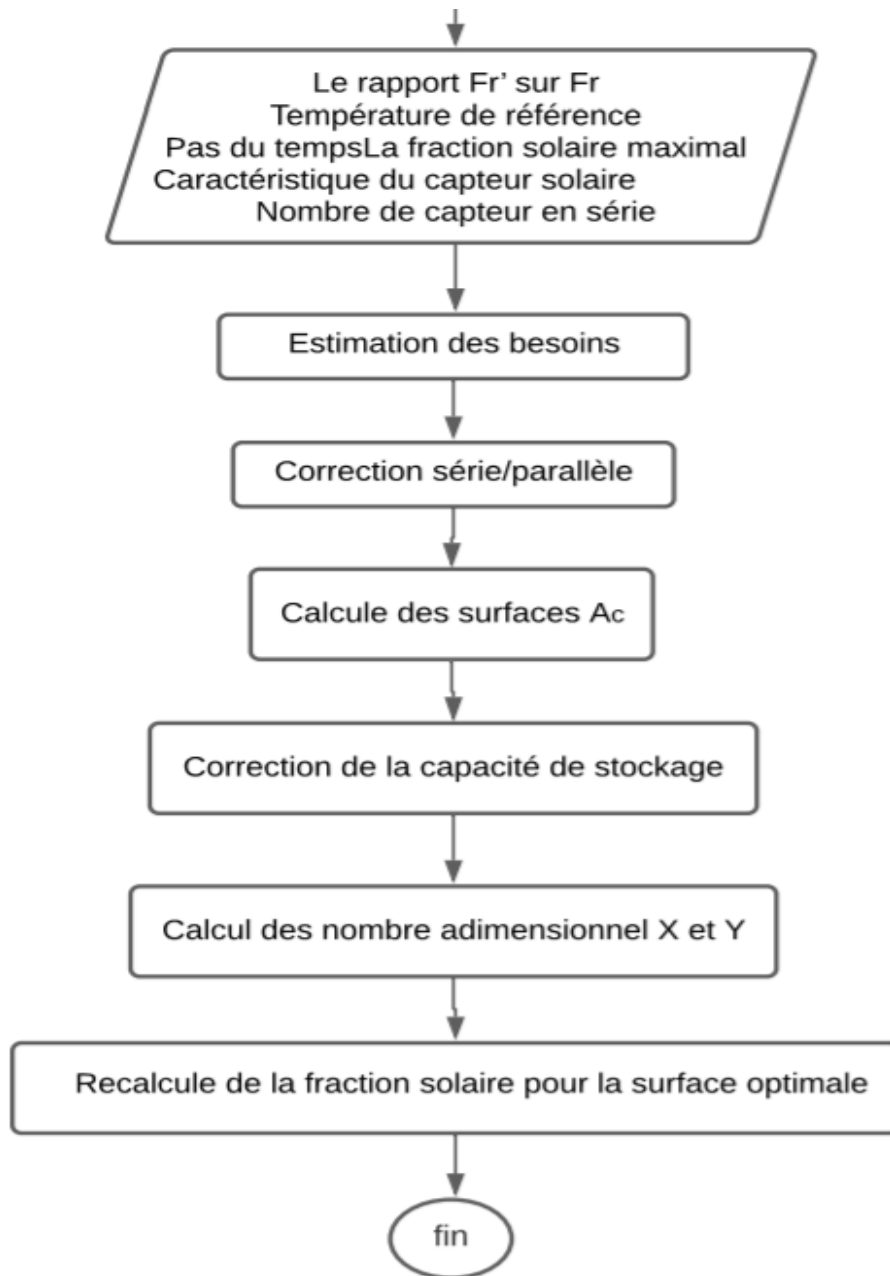
$$L = \dot{m}_{Air} C_{P\ Air} \Delta T \quad (III.29)$$

$$L = \dot{m}_A C_{PA} (T_{Air} - T_{pr})$$

ΔT : la différence de température de l'air et la température du produit avant le séchage.

III.7. L'organigramme de calcul





Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté la description du système de séchage a étudié avec une présentation schématique, le choix du site et le produit a séché. Puis la modélisation de la méthode de *f*-chart. En premier, nous avons abordé le modèle de Capderou cette partie nous a permis d'estimer les irradiations globales sur un plan incliné. Afin d'arriver au calcul des surfaces nécessaires de captations par la méthode *f*-chart pour couvrir les besoins de l'énergie calorifique en séchage et mise en marche le séchoir, et on clôturé le chapitre par un organigramme de calcul.

CHAPITRE IV : RESULTAT ET DISCUSSION

Introduction

Ce chapitre présente les résultats de l'étude de la modélisation de dimensionnement et leurs discussions et interprétations. Nous allons représenter l'évolution de l'irradiation estimée du site (BISKRA) par le modèle de Capderou, ensuite les résultats de la méthode f -chart puis en passant à l'étude économique.

IV.1. L'estimation des irradiations global et diffus sur le plan horizontal

Les figures suivantes (IV-1, IV-2) représentent la variation de l'irradiation moyennes mensuelles globales et diffuses sur le plan horizontal on applique le modèle de Capderou pour le site de BISKRA.

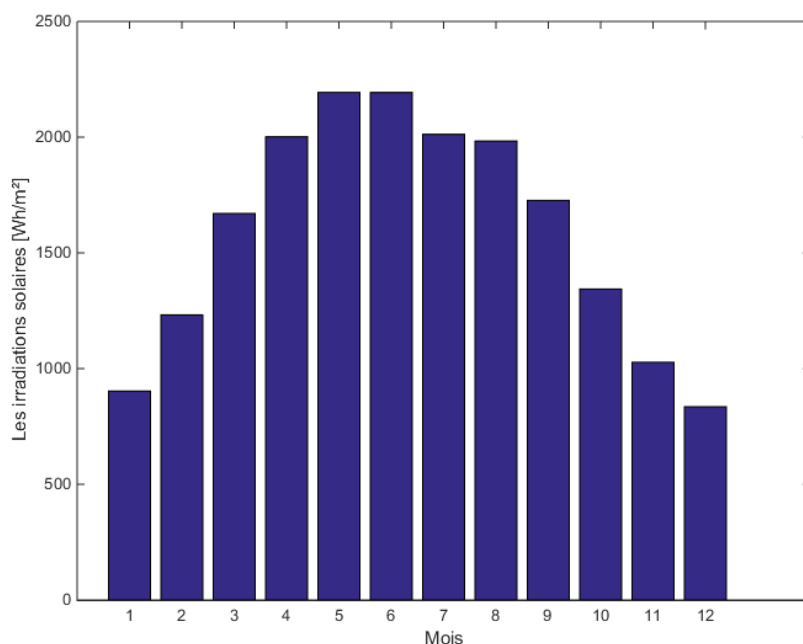


Figure IV- 1: Les irradiations diffuses sur le plan horizontal.

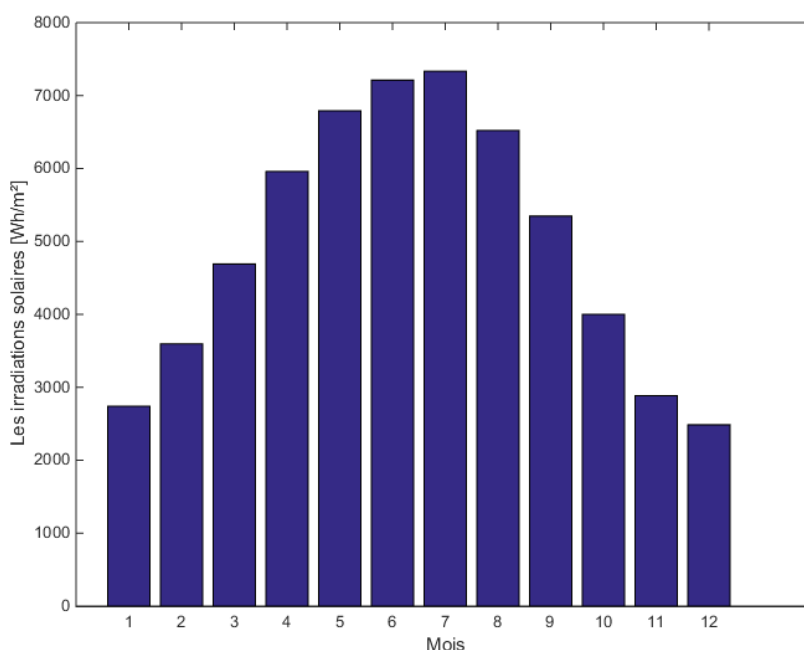


Figure IV- 2: Les Irradiations solaire global sur le plan horizontal.

D'après les deux figures (IV-1, IV-2), En remarquant que la forme est une cloche, ou les irradiances sont maximal dans les mois estivaux et elle atteint son maximum au mois de juillet elle se diminue dans les mois hivernaux, un minimum mois de décembre. Ou sont reconstituées à l'aide des données réellement mesurées comme les fractions d'insolation et les températures min, max et ambiantes.

IV.2. L'estimation des irradiances global sur le plan incliné

Après avoir les irradiances global et diffus sur le plan horizontal on va passer à l'estimation sur le plan incliné :

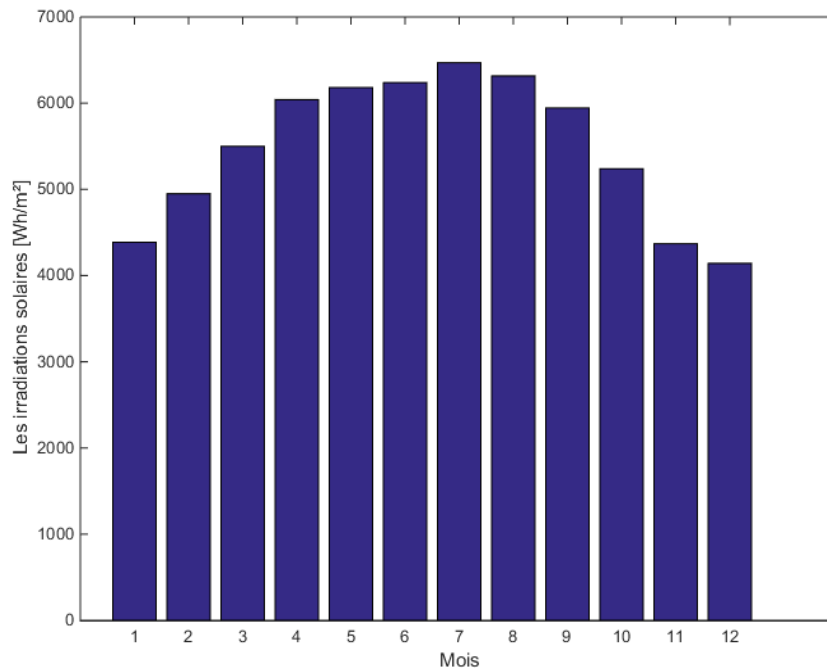


Figure IV- 3: Les Irradiation solaire global sur le plan incliné

D'après les figures ci-dessus, les irradiances global sur le plan incliné ou le modèle de Capderou donne une assez bonne estimation, comme il est bien présenté dans la figure (IV-3) ou il nous en donné plus de 6000 Wh/m² au mois d'avril, mai, juin, juillet et août et les reste de l'année il nous en donné plus de 4000 Wh/m² à l'altitude de Biskra la région où on veut installer le système de séchage ce qui est proportionnel aux irradiances global et diffus sur le plan horizontal présenté dans les figures (IV-1 et IV-2) . On peut dire aussi que c'est un potentiel très important pour les différentes applications de l'énergie solaire pour la région.

IV.2.1. Profil de besoin de séchage et le potentiel solaire

Pour un projet de séchage avec un système de production d'eau chaude, on cherche toujours le maximum d'énergie calorifique durant la période de récolte saisonnière où les besoins sont très élevés pour assurer l'opération du séchage.

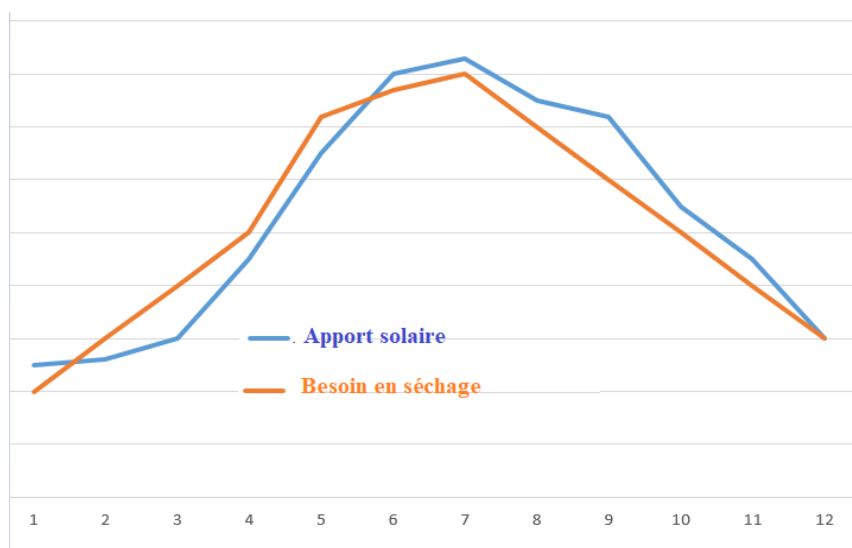


Figure IV- 4: les profils des périodes de récolte et l'apport solaire

La figures (IV-4) montre que le séchage et parmi les meilleures applications solaires ou on trouve que la saison de récolte des produits agricole et la même saison ou le potentiel solaire atteint son maximum.

IV.3. Résultats de calculs des différents paramètres et surfaces selon la méthode f-chart.

Le tableau suivant représente les résultats des différents paramètres de la méthode f-chart de chaque mois pour les deux types de capteur utilisé pour une charge mensuelle (besoin en séchage) de $L=3.55.10^{10}$ [joule], Les deux premières colonnes sont donnés les paramètres adimensionnels X, Y et les surfaces nécessaires de captation A_c pour une fraction solaire initiale estimée à 95%.

Tableau IV- 1: Résultats de calculs des différents paramètres et surfaces selon la méthode f-chart.

Mois	Type de Capteur	X	Y	A_c	f
Janvier	Capteur plan à eau	2.45	1.46	63.73	98.71 %
	Capteur à tube sous vide	0.84	1.27	53.01	93.17 %
Février	Capteur plan à eau	2.03	1.41	59.48	97.34 %
	Capteur à tube sous vide	0.71	1.24	50.92	92.70 %
Mars	Capteur plan à eau	1.71	1.37	46.59	96.27 %
	Capteur à tube sous vide	0.61	1.23	40.77	92.33 %
Avril	Capteur plan à eau	1.46	1.34	42.84	95.42 %
	Capteur à tube sous vide	0.53	1.23	38.15	92.03 %
Mai	Capteur plan à eau	1.33	1.32	40.23	94.95 %
	Capteur à tube sous vide	0.49	1.22	36.15	91.86 %
Juin	Capteur plan à eau	1.21	1.32	40.91	94.55 %

	Capteur à tube sous vide	0.45	1.21	37.05	91.72 %
Juillet	Capteur plan à eau	1.10	1.29	37.67	94.14 %
	Capteur à tube sous vide	0.41	1.21	34.45	91.57 %
Aout	Capteur plan à eau	1.13	1.30	38.46	94.24 %
	Capteur à tube sous vide	0.42	1.21	35.04	91.61 %
Septembre	Capteur plan à eau	1.30	1.32	42.78	94.86 %
	Capteur à tube sous vide	0.48	1.22	38.51	91.83 %
Octobre	Capteur plan à eau	1.67	1.36	48.87	96.13 %
	Capteur à tube sous vide	0.60	1.24	42.90	92.28 %
Novembre	Capteur plan à eau	2.30	1.44	64.91	98.23 %
	Capteur à tube sous vide	0.79	1.26	54.56	93.01 %
Décembre	Capteur plan à eau	2.63	1.48	68.87	98.28 %
	Capteur à tube sous vide	0.89	1.27	56.60	93.36

IV.4. La surface du champ

IV.4.1. Le nombre de capteur en série

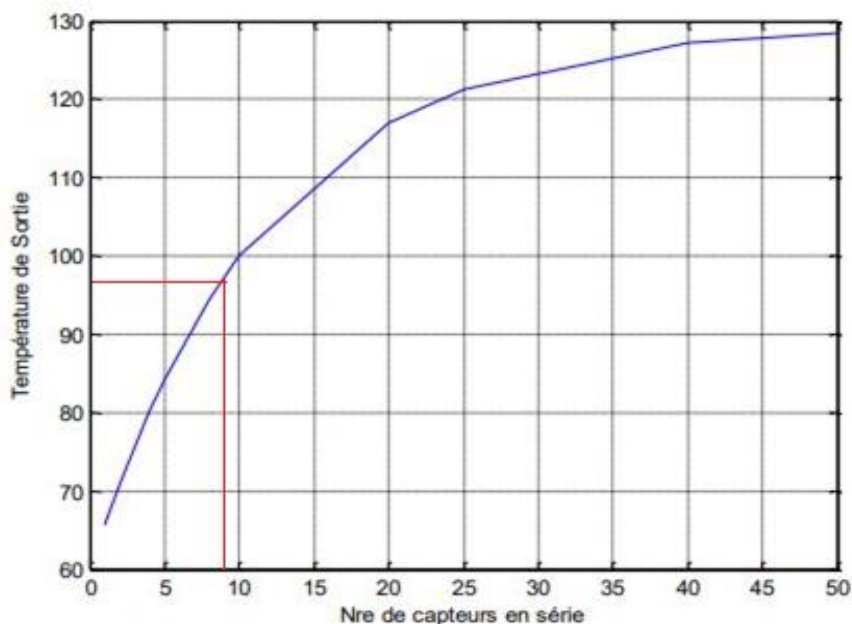


Figure IV- 5: représentation du nombre de capteur en série selon la température voulu.[46]

La température voulue à la sortie du champ est de 95°C. D’après le graphe de la figure IV-4, cela donne une installation de 9 capteurs en série.

IV.4.2. Les surfaces mensuelles pour le capteur à eau

Après la simulation sous Matlab nous avons déduit les résultats dans les tableaux ci-dessous pour :

➤ **Le capteur a eau « auroTHERM pro VFK 125 V »**

Le tableau suivant représente les surfaces mensuelles calculé pour le capteur à eau « auroTHERM pro VFK 125 V ».

Tableau IV- 2: Représente les surfaces mensuel du champs pour les journée type de chaque mois.

Mois	Surface [m ²]	Mois	Surface [m ²]
Janvier	63.73	Juillet	37.67
Février	59.48	Aout	38.46
Mars	46.59	Septembre	42.78
Avril	42.84	Octobre	48.87
Mai	40.23	Novembre	64.91
Juin	40.91	Décembre	68.87

D’après le tableau ci-dessus, on fixe la surface de notre champ du mois le plus favorable ou la surface est petite c’est le mois juillet où $A_c=37.67$ [m²]. Cela est équivalent à 15 capteurs « auroTHERM pro VFK 125 V » et on recalcule les fractions par la surface A_c .

La figure suivante montre la configuration des 15 capteurs qui compose le champ de captation.

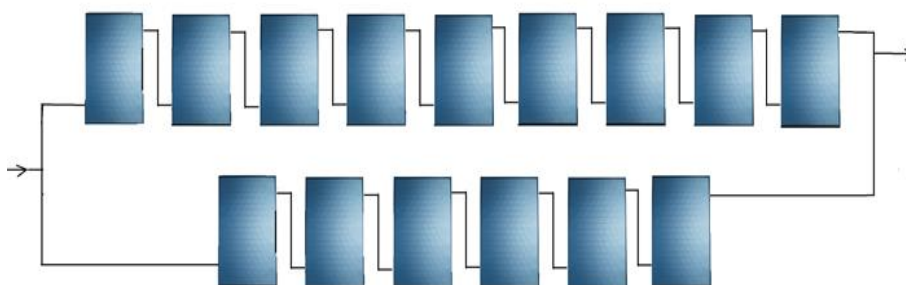


Figure IV- 6: Représentation de la configuration du champ par des capteurs a eau « auroTHERM pro VFK 125 V »

Sur ce tableau IV-3, on voit clairement que la fraction est assez importante durant toute l’année pour la région BISKRA.

Tableau IV- 3: Représente les fractions de satisfaction mensuel de chaque mois pour la surface du mois le plus défavorable.

Mois	Fraction de satisfaction	Mois	Fraction de satisfaction
janvier	43.20%	Juillet	63.77%
Février	45.14%	Aout	62.87%
Mars	54.72%	Septembre	57.99%
Avril	58.16%	Octobre	52.57%
Mai	60.95%	Novembre	42.30%
Juin	61.01%	Décembre	40.70%

Pour un projet de séchage avec un système de production d'eau chaude, on cherche toujours le maximum d'énergie calorifique durant la période de récolte saisonnière où les besoins sont très élevés pour assurer l'opération du séchage.

Sur les résultats du Tableau 2, on remarque, qu'avec capteur plan du type « auroTHERM pro VFK 125 V », la fraction solaire estivales (taux de recouvrement de la charge par énergie solaire) « avril, mai, juin, juillet, aout, septembre » est très importante sur le site de BISKRA, elle est aux alentours de 63%. La même chose pour les fractions hivernales « janvier, février, mars, octobre, novembre, décembre » ou on peut aller jusqu'au 45%. Cele suit la courbe des irradiations solaire.

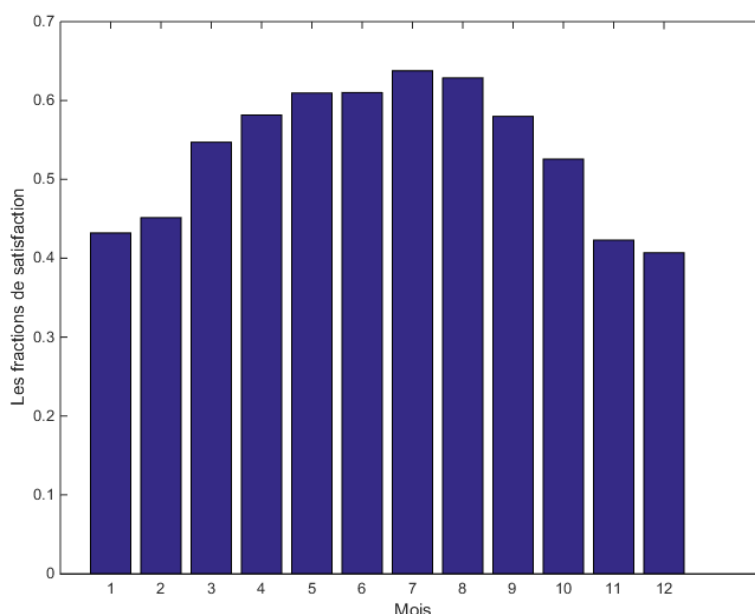


Figure IV- 7: Représentation des histogrammes des fractions de satisfaction mensuel de chaque mois pour la surface du mois le plus défavorable

➤ **Le capteur a tube sous vide « JUNKERS VK 280-1 »**

Le tableau suivant représente les surfaces mensuelles calculé pour le capteur à tube sous vide « JUNKERS VK 280-1 ».

Tableau IV- 4: Représente les surfaces mensuel du champs pour les journée type de chaque mois.

Mois	Surface [m ²]	Mois	Surface [m ²]
janvier	53.01	Juillet	34.45
Février	50.92	Aout	35.04
Mars	40.77	Septembre	38.51
Avril	38.15	Octobre	42.90
Mai	36.15	Novembre	54.56
Juin	37.05	Décembre	56.60

De même que précédemment, on fixe la surface du champ à $A_c=34.45$ [m²], et on recalcule la fraction de satisfaction $A_c=34.45$ [m²] est équivalente à 13 capteurs « JUNKERS VK 280-1 » comme il est présenté dans la figure suivante.

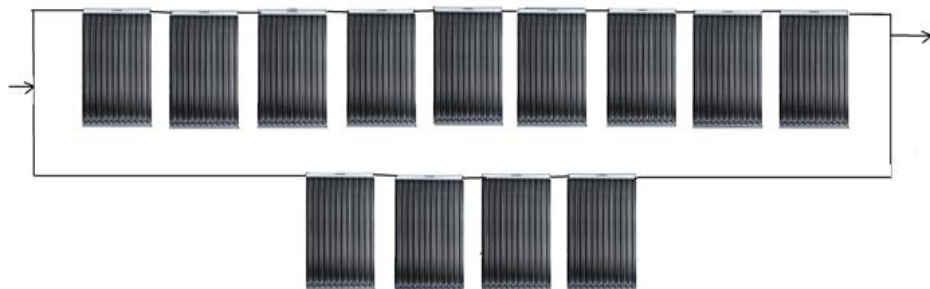


Figure IV- 8: . Représente la configuration du champ par des capteurs a tube sous vide « JUNKERS VK 280-1 ».

Nous avons remarqué que les nouvelles valeurs de la fraction de satisfaction ont diminué lorsqu’on introduit la correction du stockage qui réside dans le paramètre Xn seulement, cette diminution plus de 40% ont présente les nouveaux taux de satisfaction résultants en la surface A_c que nous allons fixer.

Tableau IV- 5: Représentation des fractions de satisfaction mensuel de chaque mois pour la surface du mois le plus défavorable.

Mois	Fraction de satisfaction	Mois	Fraction de satisfaction
janvier	52.03%	Juillet	73.02%
Février	53.64%	Aout	72.08%
Mars	64.19%	Septembre	67.02%
Avril	67.58%	Octobre	61.62%
Mai	70.44%	Novembre	50.72%
Juin	69.05%	Décembre	49.29%

. La figure (IV-9) ci-dessous représente l'évolution de la fraction de satisfaction mensuel

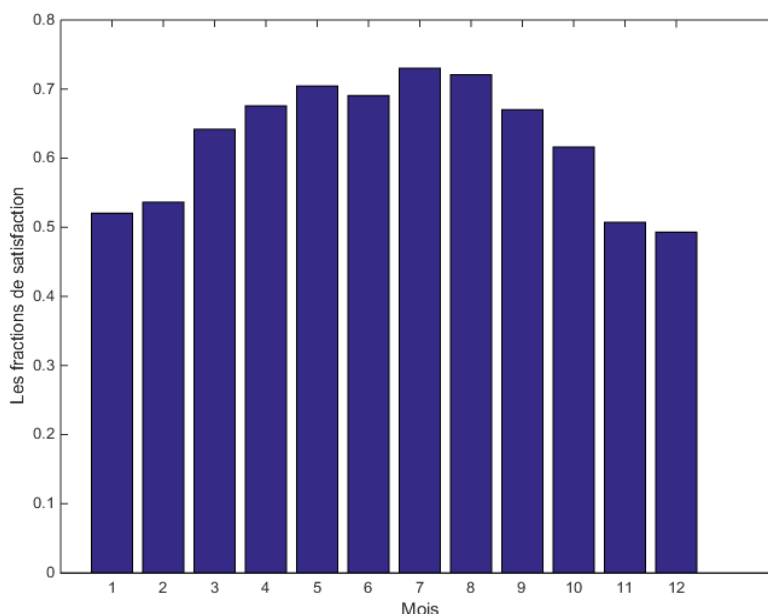


Figure IV- 9: Représente les histogrammes des fractions de satisfaction mensuel de chaque mois pour la surface du mois le plus défavorable.

En remarquant que les valeurs des fractions calculées par les paramètres capteur a tube sous vide « JUNKERS VK 280-1 » sont clairement supérieures aux valeurs calculées par Le capteur a eau « auroTHERM pro VFK 125 V » cette augmentation de la couverture des besoins nous conduit à une réduction dans le nombre total des capteurs.

IV.5. Le choix de type de capteur

Pour le choix de capteur d'après les résultats trouvés, il est clair que les surfaces obtenues pour un capteur sous vide sont beaucoup plus petites par rapport à celles d'un capteur plan. L'écart entre les surfaces obtenues par les deux types de capteurs solaires est de 09 %. Ce dernier a montré que les capteurs sous vide sont les plus performants. Pour notre cas, il est préférable d'utiliser les capteurs sous vide en réduisant les surfaces de captation et assurer un taux de couverture plus grand.

IV.6. Le ballon de stockage

f-chart a été développé pour une capacité de stockage standard de 75 litres d'eau stockée par mètre carré de surface du capteur [40]

Cela implique pour le capteur :

IV.6.1. Pour le capteur « auroTHERM pro VFK 125 V »

$$A_c * 75 = 37.67 * 75 = 2802.75 \text{ litres}$$

IV.6.2. Pour le capteur « JUNKERS VK 280-1 »

$$A_c * 75 = 34.45 * 75 = 2583.75 \text{ litres}$$

La différence de la capacité de stockage pour les deux surfaces est remarquable, 300 litres de plus quand on choisit de faire une installation par le capteur plan à eau . Les conditions de stockage choisies sont à l'intérieur d'un local bien isolé à une température ambiante de 20 °C.

IV.7. Les échangeurs thermiques

IV.7.1. Echangeur entre le champ et la cuve de stockage « échangeur a eau »

Le premier type d'échangeur utilisé est un échangeur où les deux fluides sont de l'eau avec un fonctionnement à contre-courant. Pour calculer son efficacité, il faut au minimum connaître 3 températures des fluides.

Les quatre températures des deux fluides sont présentes dans la figure suivante :

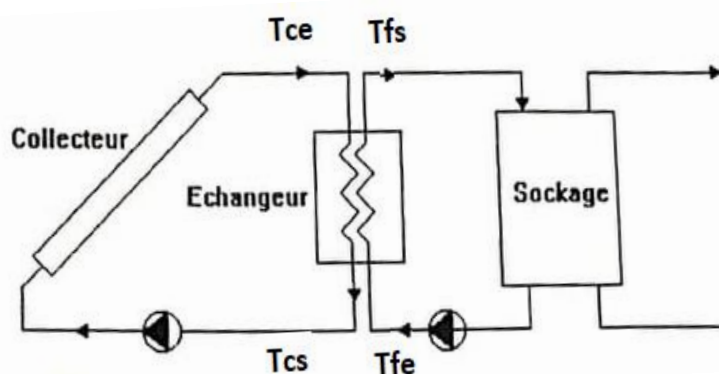


Figure IV- 10: Représentation schématique du premier circuit entre le champ de capteurs et la cuve de stockage. [47]

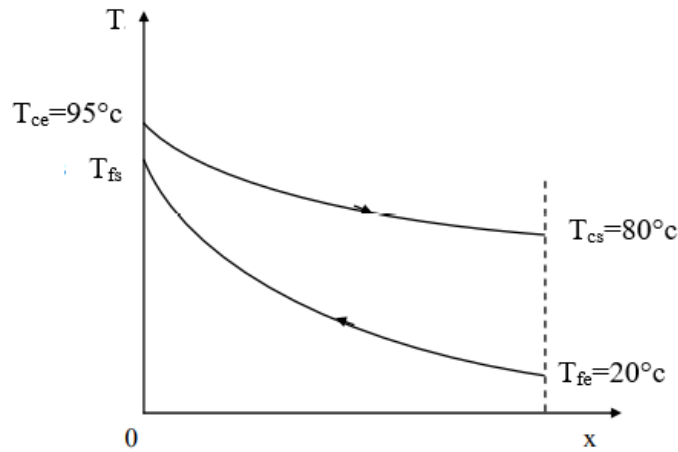


Figure IV- 11: Évolution des températures dans l'échangeur de fonctionnement contre-courant.

Pour calculer l'efficacité de cet échangeur, on applique la loi suivante :

$$\varepsilon = \frac{T_{cs} - T_{fe}}{T_{ce} - T_{fe}}$$

$$\varepsilon = \frac{80 - 20}{95 - 20} = 0.8$$

$$\varepsilon = 80\%$$

Donc l'échangeur a une efficacité de 80%.

IV.7.2. Echangeur entre la cuve de stockage et la chambre de séchage « échangeur air/eau »

Ce deuxième échangeur aussi de fonctionnement contre-courant où les fluides sont de l'eau et de l'air. La figure suivante est la représentation schématique du deuxième circuit où l'échangeur est entre la partie de stockage et l'armoire de séchage et les températures sont bien présentés dans la figure IV-12 :

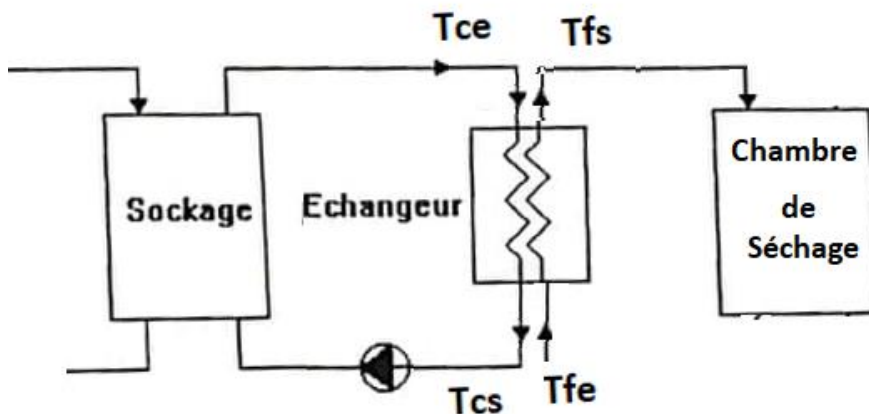


Figure IV- 12: Représentation schématique du deuxième circuit entre la cuve de stockage et la chambre de séchage. [47]

L'efficacité du deuxième échangeur est supposée de 45 %, Et on suppose que le flux de chaleur à l'entrée de la chambre de séchage et le même avec le flux de chaleur à la sortie de l'échangeur.

IV.9. Etude économique

Nous étudierons séparément les coûts d'investissement, les coûts d'exploitation et les coûts d'entretien et de maintenance pour calculer le prix de [KWh] produit par le solaire puis en calculant le prix de [KWh] produit par une chaudière à gaz et on va faire une comparaison entre eux.

IV.9.1. Le coût de l'énergie nivelé

En général, le calcul des coûts de la production d'électricité par l'énergie solaire thermique obéit aux mêmes règles que les solutions classiques, le coût de l'énergie nivelé (Levelized Electricity Cost, LEC) est l'indicateur le plus utilisé pour les centrales solaires et dans beaucoup d'autres systèmes, Il est calculé de la manière suivante :

$$LEC = \frac{C_{rf}K_{invest} + K_{O,M} + K_{fuel}}{E_{net}}$$

$$C_{rf} = \frac{K_d(1 + K_d)^n}{(1 + K_d)^n - 1} + K_{insurance}$$

Les valeurs indiquées sont celles utilisées par la banque mondiale dans son rapport : Strategy for the Market Development of Concentrating Solar Thermal Power [38].

IV.9.2. Estimation de coût d'investissement à l'aide du solaire

Le tableau suivant représente l'estimation de cout des différentes composantes du système de séchage :

Tableau IV- 6: cout d'investissement

Composant	Coût unitaire (DZD)	Nombre	Coût total (DZD)
Capteur	100000	13	1300000
Pompe	50000	04	200000
Echangeur EAU/EAU	10000	01	10000
Echangeur AIR/EAU	10000	01	10000
Appoint	25000	01	25000
	10000	01	10000
Cuve de stockage	100000	01	100000
Régulateur	12000	03	36000
Tuyauterie	3700	200	740000
Monomètre	16000	01	16000
Purge	4500	01	4500
Clapet anti-retour	2000	10	20000
Vase d'expansion sanitaire	7500	01	7500
Chambre + chariot	200000	01	200000
Vanne 3 vois	22000	03	66000
Vanne de sécurité	2000	01	2000
Total			2747000 (DZD)

IV.9.2.1. Estimation de cout de maintenance

Le tableau suivant représente l'estimation de cout de maintenance annuelle

Tableau IV- 7: cout de maintenance.

Composant	Coût unitaire (DZD)	Nombre	Coût total (DZD)
capteur	400	13	5200
Cuve de stockage	5000	01	5000
Tuyauterie	25000	--	25000
Total			35200

IV.9.2.2. Énergie nette produite par le système

$$E_{net} = \frac{(3.55 * 10^{10}) * 12}{3600} = 11.83 * 10^4 [KWh]$$

$$E_{net} = 11.83 * 10^4 [KWh]$$

IV.9.2.3. Coût annuelle en carburant

Le Coût annuel de l'électricité (7DZD / kWh)

Notre installation donne une fraction de satisfaction annuel de 60 % cela implique que en utilisant le conventionnel pour satisfaire les besoins qui est de 40 %.

$$K_{fuel} = \left(\frac{E_{net} * 0.4}{0.3} \right) * 7$$

$$K_{fuel} = 11.04 * 10^5 [DZD]$$

IV.9.2.4. Le LEC a l'aide du solaire

$$LEC = \frac{C_{rf} K_{invest} + K_{O,M} + K_{fuel}}{E_{net}}$$

$$LEC = \frac{(0.102) * (2747000) + 35200 + (11.04 * 10^5)}{11.83 * 10^4}$$

$$LEC = 11.99 [DZD]$$

Donc le prix du [KWh] produit par le solaire est de 11.99 [DZD].

IV.9.3. Calculons le LEC a l'aide d'une chaudière à gaz

L'estimation du cout d'investissement du système de séchage à l'aide d'une chaudière à gaz est dans le tableau suivant :

Tableau IV- 8: cout d'investissement .

Composant	Coût unitaire (DZD)	Nombre	Coût total (DZD)
Chaudière à gaz	300000	01	300000
Pompe	50000	04	200000
Echangeur EAU/EAU	10000	01	10000
Echangeur AIR/EAU	10000	01	10000
Appoint	25000	01	25000

	10000	01	10000
Cuve de stockage	100000	01	100000
Régulateur	12000	03	36000
Tuyauterie	3700	200	740000
Monomètre	16000	01	16000
Purge	4500	01	4500
Clapet antiretour	2000	10	20000
Vase d'expansion sanitaire	7500	01	7500
Chambre + chariot	200000	01	200000
Vanne 3 voies	22000	03	66000
Vanne de sécurité	2000	01	2000
Total			1747000 (DZD)

IV.9.3.1. Estimation de cout de maintenance

Le tableau suivant représente l'estimation de cout de maintenance annuelle :

Tableau IV- 9: cout de maintenance

Composant	Coût unitaire (DZD)	Nombre	Coût total (DZD)
Chaudière	50000	01	50000
Cuve de stockage	5000	01	5000
Tuyauterie	25000	--	25000
Total			80000 (DZD)

IV.9.3.2. Coût annuelle en carburant

$$K_{fuel} = \left(\frac{E_{net}}{0.3} \right) * 7$$

$$K_{fuel} = 27.60 * 10^5 \text{ [DZD]}$$

IV.9.3.3. Coût annuel en électricité à l'aide de la chaudière

$$LEC = \frac{C_{rf} K_{invest} + K_{O,M} + K_{fuel}}{E_{net}}$$

$$LEC = \frac{(0.102) * (1747000) + (80000) + (27.60 * 10^5)}{11.83 * 10^4}$$

$$LEC = 25.51 \text{ DZD}$$

D'après les résultats obtenus, nous constatons qu'il est intéressant d'investir dans des applications de séchage solaire comme le cout du LEC du solaire est moins cher par rapport le LEC de l'autre système de séchage à l'aide d'une chaudière à gaz sans parler du coté pollution atmosphérique.

IV.9.4. Temps de retour brut (TRB)

Les résultats du calcul de l'énergie nette produite par le système pendant l'année en utilisant l'énergie fossile avec ou sans appoint sont donnés par le tableau suivant :

Tableau IV- 10: Consommation annuelle

Type de consommation	Energie électrique (kWh/an)
Chaudière a Gaz	118300
Système solaire avec appoint	47320
Gain	70980

Calcul du temps de retour brut (TRB).

$$TRB = \frac{\text{investissement}}{\text{gain annuel}} = 17 \text{ ans}$$

Un système de séchoir solaire peut être très rentable, en comparaison du séchoir à l'aide d'une chaudière à gaz, lorsque le prix du LEC est élevé.

Les systèmes de séchage solaire représentent un coût d'investissement initial très élevé. Grâce à la subvention de 45 % du coût initial d'achat de l'état Algérien, de tels systèmes peuvent avoir un temps de retour simple sur l'investissement inférieur à la durée de vie du système.

Conclusion

Nous avons vu dans ce chapitre que les résultats d'estimation pour le site BISKRA sont bonne pour les applications de l'énergie solaire ainsi le séchage solaire.

Et la méthode f-chart nous a permis de déterminer la surface nécessaire pour faire en marche notre séchoir pour les deux types de capteur. On a calculé par la suite les capacités de stockage des ballons pour les deux surfaces et toujours avec les capteurs a tube sous vide. On peut augmenter de 10% de la surface du champ et plus de 12 % dans sa capacité de stockage.

La comparaison entre les deux types de capteurs, montre que le capteur a tube sous vide est plus performant par rapport au capteur a eau. A partir de cette comparaison le choix des capteurs solaires sous vide pour les installations de séchage solaire indirect a échelle industrielle est le bon choix.

Ensuite, on a calculé les efficacités de chaque échangeur pour notre installation. Elle est aux alentours de plus de 60% pour l'échangeur air/eau de de 80% pour l'échangeur a eau.

En plus de l'étude technique, nous avons réalisé une étude économique pour voir la faisabilité et la rentabilité de notre l'installation de séchoir solaire. Cette dernière est comparée avec une autre installation présentant les mêmes caractéristiques et fonctionnant à l'aide d'une chaudière à gaz et nous avons trouvé qu'il est intéressant d'investir dans des applications de séchage solaire.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

Le séchage est l'un des processus fondamentaux qui permet d'augmenter efficacement le temps de stockage des produits issus de l'industrie agro-alimentaire, c'est un procédé très énergivore. Cela, explique le recours à l'utilisation des séchoirs solaires qui connaissent un développement remarquable durant ces dernières années.

Après une étude bibliographique sur le sujet nous avons vu tous les types de séchoirs, nous disposons d'un système séchage de type indirect a convection forcée consiste à une production simultanée d'eau chaude et d'air chaud pour le traitement des différentes produits agro-alimentaire pour le sud algérien.

Puis on a procédé à différentes simulations via un programme réalisé en s'appuyant sur le modèle Capderou pour le calcul des irradiances solaires pour la région de BISKRA, ou à travers ce modèle on peut dépasser les 4000 [Wh/m²] en hiver, et plus de 6000 [Wh/m²]. Les résultats obtenus montrent que cette région a un très fort potentiel en énergie solaire permettant l'installation de diverses applications de conversion de l'énergie solaire en énergie utile dans plusieurs domaines tel que le séchage.

On a estimé les besoins mensuels en séchage sont de l'ordre de $3.55 \cdot 10^{10}$ [joule], Après avoir calculé et dimensionné notre installation, les résultats donnent un taux de couverture de l'ordre 60% et 70% ce qui est intéressant et à travers ces fractions on peut couvrir plus de la moitié des besoins.

Pour un bon fonctionnement du système et l'appoint ne fournira que l'énergie pour combler la différence non fournie par le solaire et pour assurer le fonctionnement en continu de notre séchoir.

Les résultats obtenus mettent en évidence l'influence de type de capteur utilisé ce qui est intéressant pour les deux types et pour une installation de séchage optimale a un grand échelle il est préférable d'installer des capteurs a tube sous vide au lieu d'utiliser des capteurs plan a eau et les résultats obtenus montrent ça par une surface de captation réduite, donc automatiquement le nombre des capteurs aussi moins et plus de 12 % dans la capacité de stockage, tout ça a un impact économique sur le cout d'investissement dans un projet de séchage.

Les résultats que nous avons obtenu à travers cette étude sont satisfaisants et nous permettent d'atteindre nos objectifs qui est de faire fonctionné notre séchoir en continue et dans les meilleures conditions.

De plus notre installation de séchage solaire nous permet d'éviter une quantité importante d'émissions des gaz à effets de serres ou polluants. Et c'est l'impact environnemental et écologique

qui nous intéresse beaucoup en Algérie le pays qui est en voie de transition énergétique donc ce projet rentre dans le programme de l'état du développement durable.

Cette étude permet d'offrir la possibilité de l'utilisation de l'énergie thermique sur tout dans le séchage et d'interpeller les pouvoirs publics à sensibiliser à l'exploiter et à contribuer à la diminution de l'exploitation des énergies fossiles.

L'investissement dans des applications solaires est très cher, et comme le prix du KWh d'électricité en Algérie est subventionné, donc nos perspectives dans ce travail est d'aller à une étude économique pour évaluer notre installation du point de vue économique.

L'évaluation économique de notre installation elle a nos montrer que grâce à la subvention étatique des installations des chauffes eau solaire on peut dire que les différentes installations des différents systèmes peuvent avoir un temps de retour de l'investissement inférieur à la durée de vie du système.

REFERENCE BIBLIOGRAPHIE

Référence bibliographie

- [1] M.R.Yaïche et S.M.A. Bekkouche, 'Conception et Validation d'un Programme sous Excel pour l'Estimation du Rayonnement Solaire Incident en Algérie. Cas d'un Ciel Totalement Clair', *Revue des Energies Renouvelables*, Vol. 11, N°3, pp. 423 – 436, 2008
- [2] Programme alimentaire mondial, P.a. Faits et chiffres sur la faim. 2018 : <https://fr.wfp.org/faim/faits-et-chiffres>.
- [3] Gustafsson, J., et al., 'The methodology of the FAO study: Global Food Losses and Food Waste-extent, causes and prevention'-FAO, 2011, 2013, SIK Institutet för livsmedel och bioteknik
- [4] S. El Mokretar et al, 'Etude du Bilan d'Energie et de Masse d'un Séchoir de Type Serre Applications au Séchage des Produits Agro-alimentaires', *Rev. Energ. Ren.* Vol. 7 (2004) 109-123
- [5] ADjebli,a,b et al , 'A new approach to the thermodynamics study of drying tomatoes in mixed solar dryer', *Solar Energy* 193(2019) 164-174 (UDES)
- [6] S. Boughali et al, 'Séchoir Solaire à Convection Forcée pour le Séchage des Fruits en Algérie', *Revue des Energies Renouvelables SMSTS'08 Alger* (2008) 105 - 110
- [7] Miloud Lahbari et al, 'Conception et Réalisation d'un séchoir solaire indirect', 5ème Séminaire Maghrébin sur les Sciences et les Technologies du Séchage
- [8] Essamhi hajar et al, 'Conception of a Solar Air Collector for an Indirect Solar Dryer Pear Druing Test', *Energy Procedia* 141 (2017) 29–33
- [9] Lopez vidana et al , 'Thermal performance of a passive, mixed-type solar dryer for tomato slices (*Solanum lycopersicum*)', *Renewable energy* 147 (2020) 845-855
- [10] Roonak Daghigh et al , 'A multistate investigation of a solar dryer coupled with photovoltaic thermal collector and evacuated tube collector', *Solar Energy* 199 (2020) 694–703
- [11] P. M. Chauhan , 'COMPARATIVE PERFORMANCE OF CORIANDER DRYER COUPLED TO SOLAR AIR HEATER AND SOLAR AIR-HEATER-CUM-ROCKBED STORAGE', *Pergamon* 1359-4311(95)00038-0
- [12] S. Deeto et al, 'The experimental new hybrid solar dryer and hot water storage system of thin layer coffee bean dehumidification', *Renewable Energy RENE* 9207
- [13] S. Murali et al, 'Design and Performance Evaluation of Solar - LPG Hybrid Dryer for Drying of Shrimps ', *Renewable Energy* S0960-1481(19)31493-4
- [14] K. Kaci et al, 'Etude technico-économique d'une installation de chauffage solaire à usage industriel', *Revue des Energies Renouvelables SIENR'14 Ghardaïa* (2014) 135 – 139
- [15] Mohd Afzanizam Mohd Rosli et al, 'F-Chart Method for Design Domestic Hot Water Heating System in Ayer Keroh Melaka ', *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences* 56, Issue 1(2019) 59-67
- [16] W.A. Beckman, S.A Klein et J.A Duffie « Solar heating design by the f-chart method » ; Wiley , New York (1977)
- [17] P. H. Communay "Héliothermique, le gisement solaire, méthode et calculs" Groupe de Recherche et D'édition, France (2002)
- [18] S. El Mokretar et al, 'Etude du Bilan d'Energie et de Masse d'un Séchoir de Type Serre Applications au Séchage des Produits Agro-alimentaires', *Rev. Energ. Ren.* Vol. 7 (2004) 109-123

- [19] Djamel Mennouche ‘ VALORISATION DES PRODUITS AGRO-ALIMENTAIRES ET DES PLANTES MEDICINALES PAR LES PROCÉDES DE SECHAGE SOLAIRE’ these magister université Kasdi Merbah Ouargla
- [20] P Cattelain, « Le séchage un procédé ancien en évolution », Article le bulletin d’information technologique juillet 2011
- [21] Michel Daguenet « Le séchoir solaire théorie et pratique » Unesco place de Fontenoy 75700 France (1985)
- [22] A Sharma « Solar energy drying systems »: A review Atul Sharma, C.R.Chen, Nguyen Vu Lan department of mechanical engineering, (2009)
- [23] A. Madhlope, S. A. Jones, and J. D. Kalenga Saka "A solar air heater with composite absorber systems for food dehydration ", *Renewable Energy*, 27 (27 - 37) - (2001).
- [24] S. Lahsasni, et al, "Thin layer convective solar drying and mathematical modeling of prickly pear peel ", *Energy* 29 (211 - 244) - (2004).
- [25] Robin Alexandre , « Evaluation d’une stratégie de valorisation de biomasse en alicaments anthelminthiques pour les petits ruminants dans les systèmes polyculture élevage » thèse 2004.
- [26] Techniques de l’ingénieur – génie des procédés Séchage Appareillage et choix d’un procédé. Par André charreau et Roland cavaille, j 2484-2 ; 2484-16.
- [27] Microsoft Encarta 2006.
- [28] K. KACI « Support de cour système a base température master 2 » université Blida 1
- [29] Y. Mohana et al, « Solar dryers for food applications : Concepts, designs, and recent advances » *solar energy* 208(2020) 321-344
- [30] Lakshmi et al, « Drying kinetics and quality analysis of black turmeric (*Curcuma caesia*) drying in a mixed mode forced convection solar dryer integrated with thermal energy storage » 10.1016/j.renene.2017.12.053
- [31] w chaouch et al, « Experimental investigation of an active direct and indirect solar dryer with sensible heat storage for camel meat drying in Saharan environment » *Solar Energy* 174,328-597
- [32] D, K, Edwards. Capteurs solaires, Edition SCM, paris. (1979)
- [33] J, Bernard. Energie solaire calculs et optimisation, Ellipse Edition Marketing. (2004)
- [34] A, Sfeir ; G, Guarracino. Ingénierie des systèmes solaires, Technique et Documentation, Paris. (1981).
- [35] SAADI SOUAD, « thèse EFFET DES PARAMETRES OPERATIONNELS SUR LES PERFORMANCES D’UN CAPTEUR SOLAIRE PLAN », UNIVERSITE MENTOURI DE CONSTANTINE,2020
- [36] N, Bellel. Etude des transferts thermiques le long d’un tube cylindrique appliquée à deux géométries ; thèse de doctorat, Université de Constantine. (2004).
- [37] Percebois, J., L’énergie solaire perspectives économiques, 1975, France : Centre National de la Recherche Scientifique.
- [38] M. BOUKADIDA, « thèse : ÉTUDE NUMÉRIQUE DE L’ÉCOULEMENT DANS UN COLLECTEUR SOLAIRE À TUBES SOUS VIDE OUVERTS DES DEUX CÔTÉS », l’école de technologie supérieure, MONTREAL 2015
- [39] M.Mezouk «Conversion Thermodynamique Solaire cours pour master 2 conversion thermique énergie renouvelable » ; université Saad Dahlab de Blida (2012)

- [40] J.A. Duffie and W.A. Beckman, 'Solar Engineering of Thermal Processes', 2nd Edition, John Wiley & Sons inc, New York, 916 p., 1991
- [41] F. Yettou « Optimisation d'un système solaire de production d'eau chaude » ; Revue des Energies Renouvelables Vol. 13 N°3 (2010) 465 – 476
- [42] Miloud LAHBARI « ETUDE ET SIMULATION DU SECHAGE DE L'ABRICOT : APPLICATION A QUELQUES VARIETES DE LA REGION DES AURES » ; Thèse présentée pour obtenir le grade de Docteur en Sciences, UNIVERSITE HADJ LAKHDAR BATNA, 2015
- [43] M. Merzouk et N. Kasbadji Merzouk « Le Chauffe-eau Solaire à Usage Domestique Analyse des Limites Technico - Economiques de l'Expérience Algérienne », Rev. Energ. Ren. : Valorisation (1999) 225-229
- [44] Fiche technique « auroTHERM pro VFK 125 V », 2021 : <https://www.vaillant.be>
- [45] Fiche technique « JUNKERS VK 280-1 », 2021 : <http://meurer.be>
- [46] KACI. K et al, 2014. "Optimization of collector area for solar heating," J. MacroTrends Health Med.
- [47] A. MOUHAMEDI, 2008, « Estimation des performances à long terme des systèmes solaire à basse température », UNIVERSITE YAHIA FARES MEDEA.