

UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA
FACULTÉ DES HYDROCARBURES, DES ÉNERGIES RENOUVELABLES ET
DES SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS
Département d'Energies Renouvelables



Mémoire

Présenté pour l'obtention du diplôme master

Domaine : Génie Mécanique

Filière : Energies Renouvelables

Spécialité : Energies Renouvelables

Présenté par :

HaffarAbdelouahed

AmgharMassiv

Thème

**Etude de la performance d'un concentrateur
cylindro-prabolique en vue de son utilisation dans
un procédé de séchage**

Soutenu publiquement

Le : 26/06/2019

Devant le jury :

Mr. DOUAK Mohammed M.A. APrésidentUKM Ouargla

Mr. BERBEUH Med.Hafed.M.C.B Examineur UKM Ouargla

Mr. BENMNINE Djamel M.A.A EncadreurUKM Ouargla

Année Universitaire : 2018 /2019

REMERCIEMENTS

On remercie Dieu le tout puissant de nous avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire. Tout d'abord, ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu voir le jour sans l'aide et l'encadrement de Mr BENMNINE Djamel, enseignants au département d'énergies renouvelables de l'Université de Ouargla, on le remercie, pour la qualité de son encadrement exceptionnel, pour sa patience, sa rigueur et sa disponibilité durant notre préparation de ce mémoire. Nous remercions surtout Mr SOUDANI Mohammed Elbbarqui nous a aidés beaucoup.

Nous sommes conscients de l'honneur que nous a fait Mr DOUAK Mohammed, en étant président du jury ainsi que au Mr BERBEUH Mohammed Elhaffedd'avoir accepté d'examiner ce travail.

Nos plus grands remerciements vont à toutes les personnes qui nous ont aidés et soutenus de près ou de loin, principalement à tous l'effectif du département d'énergie renouvelable de l'université KASDI MERBAH Ouargla.

Dédicaces

Je dédie ce travail à :

A ma chère mère.

A mon cher père.

Que Dieu leur préserve longue vie et bonne santé

A mes frères Yethi, Yacine et Sid ali

A mes sœurs Ouahiba, Karima, et Rayan.

A ma grande famille.

A tous mes amis surtout : Mohammed, Rachid,

ALI.

A tous mes amis du parcours scolaire et

universitaire.

A tous mes enseignants de l'école primaire jusqu'à

l'université

Abdelouahed

Dédicace

Je dédie cet ouvrage

*A mes parents qui m'ont soutenu et encouragé durant
ces années d'études*

*A ma famille mes proches et ceux qui ont partagé avec
moi tous les moments d'émotion lors de la réalisation de
ce travail*

*A tous mes amis qui m'ont toujours encouragé, et à qui
je souhaite plus de succès*

A tous ceux que j'aime

Merci

MASSIV

SOMMAIRE

SOMMAIRE

Remerciement	I
Dédicace	II
Listes des figures.....	VIII
Listes des tableaux	X
Nomenclature.....	XI
Abréviations.....	XII
Introduction générale.....	1

Chapitre I : Etude théorique sur les concentrateurs solaires

I.1. Introduction	4
I.2. Rayonnement solaire	4
I.2.1. Rayonnement direct.....	4
I.2.2. Rayonnement solaire diffus	4
I.2.3. Rayonnement réfléchi.....	5
I.2.4. Rayonnement solaire globale	5
I.2.5. Gisement solaire en Algérie.....	5
I.3. Les concentrateurs solaires.....	7
I.3.1. Principe de fonctionnement d'un concentrateur solaire	8
I.4. Les types des capteurs solaires à concentration	8
I.4.1. Le concentrateur parabolique	8
I.4.2. Les centrales à tour	9
I.4.3. Les centrales linéaires Fresnel.....	10
I.4.4. Le capteur solaire cylindro-parabolique.....	11
I.4.4.1. La géométrie et l'optique des concentrateurs cylindro-parabolique.....	12
I.4.4.1.1. Les paramètres géométriques	12
A. La longueur de cylindro parabolique.....	13
B. La distance focale	13
C. L'angle d'ouverture (ψ)	13
D. La largeur de l'ouverture a	14
I.4.4.1.2. Les paramètres Optiques	14
A. La surface du miroir et la surface d'ouverture.....	14
B. Le facteur de concentration C	15

SOMMAIRE

I.5.	Conclusion	16
------	------------------	----

Chapitre II : Généralité sur le séchage et les séchoirs solaires

II.1.	Introduction	18
II.2.	Principe de séchage	18
II.2.1.	Séchage par ébullition	18
II.2.2.	Séchage par entraînement	18
II.3.	Processus de séchage	19
II.3.1.	Séchage par conduction	19
II.3.2.	Séchage par convection	19
II.3.3.	Séchage par rayonnement	19
II.4.	Modes de séchage	19
II.4.1.	Séchage mécanique	19
II.4.2.	Séchage chimique	20
II.4.3.	Séchage thermique	20
II.5.	Cinétique de séchage	20
II.6.	Influence des paramètres de l'air sur la Cinétique de séchage	21
II.6.1.	Influence de la température de l'air	21
II.6.2.	Influence de l'humidité de l'air	22
II.6.3.	Influence de la vitesse d'air	22
II.7.	Classification des types de séchoirs solaires	23
II.7.1.	Les séchoirs solaires directs	23
II.7.2.	Les séchoirs Indirects	24
II.7.3.	Les séchoirs solaires mixtes	25
II.7.4.	Séchoirs solaire hybrides	26
II.8.	Conclusion	26

Chapitre III : Réalisation d'un concentrateur cylindro-parabolique

III.1.	Introduction	28
III.2	Description des différentes parties du prototype	28
III.2.1	Réflecteur	29
III.2.2	Absorbeur	29
III.2.2.1.	Le jeu annulaire	30
III.2.3.	Le fluide caloporteur	31

SOMMAIRE

III.2.4. Le support.....	31
III.3. Instruments de mesures.....	32
III.3.1. Thermocouples	32
III.3.2. Solarimètre	32
III.3.2.1. Fonctionnement de l'appareil.....	33
III.3.2.1. Données techniques	34
III.4. Montage et expériences des mesures.....	34
III.4.1. La première installation	34
III.4.1.1. Expériences et mesures	35
III.4.1.1.1. Première expérience.....	35
III.4.1.1.2. Deuxième expérience.....	36
III.4.1.1.3. Troisième expérience	36
III.4.2. Deuxième installation	37
III.4.2.1. Quatrième expérience	37
III.4.3. Problèmes rencontrés durant les expériences.....	38
III.5. Conclusion	38

Chapitre IV : résultats et discussion

IV.1. Introduction.....	40
IV.2. Résultats.....	40
IV.2.1. Première partie	40
A. Expérience n°1... ..	40
B. Expérience n°2... ..	41
C. Expérience n°3... ..	42
IV.2.1.1. Evolution de l'éclairement lors des expériences	42
A. Expérience n°1... ..	43
B. Expérience n°2... ..	43
C. Expérience n°3... ..	44
IV.2.1.2. Evolution de la température du l'eau... ..	45
A. Expérience n°1... ..	45
B. Expérience n°2... ..	46
C. Expérience n°3... ..	47
IV.2.1.3. Comparaison des résultats.....	47
IV.2.1.3.1. L'effet de système de poursuite.....	47

SOMMAIRE

IV.2.1.3.2. L'effet de débit	48
IV.2.2. Deuxième partie	49
IV.2.2.1. Expérience n°4... ..	49
IV.2.2.2. Evaluation de température de paroi.....	49
IV.2.2.3. Evaluation de température de des deux chambres de séchage	50
IV.3. Conclusion	50
Conclusion générale	52

Bibliographie

Résumé

Liste des figures

Figure I.1 : Rayonnes solaires	5
Figure I.2 : Carte du monde de l'enseillent moyen annuel.....	6
Figure I.3: Heures moyennes d'enseillement journalier (1996-2006).....	7
Figure I.4: Schéma d'un concentrateur solaire parabolique.....	9
Figure I.5: Schéma de principe d'une centrale à tour.....	10
Figure I.6:Schéma d'un concentrateur solaire de Fresnel.....	11
Figure I.7: Description d'un collecteur cylindro-parabolique.....	12
Figure I.8 : Modes de poursuite solaire d'un CCP	12
Figure I.9: Paramètres géométriques d'un cylindro parabolique	13
Figure I.10 : Surface d'ouverture du collecteur et du récepteur	15
Figure II.1 : Périodes du séchage	20
Figure II.2. Cinétique de séchage de haricots verts (Doymaz, 2005).....	21
Figure II.3. Effet de l'humidité relative de l'air sur les courbes de séchage des feuilles de céleri à 40°C (Román&Hensel, 2011).....	22
Figure II.4. Différents types des séchoirs solaires.....	23
Figure II.5. Séchoir solaire direct.....	24
Figure II.6. Séchoir Indirect.....	25
Figure II.7. Séchoir solaire mixte.....	25
Figure II.8. Séchoirs solaire hybrides	26
Figure III.1 : Concentrateur cylindro-prabolique	28
Figure III.2: Absorbeur	30
Figure III.3 : Support de concentrateur	31
Figure III.4 : Thermocouple.....	32
Figure III.5 : Solarimètre	33
Figure III.6 : Schéma présente la première installation.....	34
Figure III.7 : Utilisation de système de poursuite manuel	35
Figure III.8 : Positionnement de concentrateur vers le sud à 30°.....	36
Figure III.9 : Montage de la deuxième installation... ..	37
Figure III : le thermoplongeur	38
Figure IV.1 : Évolution de l'éclairement solaire pendant l'expérience n°1... ..	43
Figure IV.2 : Évolution de l'éclairement solaire pendant l'expérience n°2... ..	43
Figure IV.3 : Évolution de l'éclairement solaire pendant l'expérience n°3... ..	44
Figure IV. 4 : Évolution de la température de l'eau au cours de l'expérience n°1	45

Figure IV. 5 : Évolution de la température de l'eau au cours de l'expérience n°2.....46
Figure IV.6 : Évolution de la température de l'eau au cours de l'expérience n°3.....47
Figure IV.7 : Comparaison de la température à d'eau entre l'expérience n°1 et n°2.....48
Figure IV.8 : Comparaison de la température à d'eau entre l'expérience n°1 et n°2.....48
Figure IV.9 : l'évaluation de température de la paroi au cours de l'expérience n°4... 49
Figure IV.10 : Comparaison de température entre les deux chambres lord de la 4em
expérience 51

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Ensoleillement reçu en Algérie par régions climatiques.....	6
Tableau I.2:Caractéristiques des centrales solaires à concentration.....	8
Tableau :III.1. Propriétés optiques et thermiques du CSP.....	29
Tableau III.2 :Caractéristique géométrique du réflecteur.....	29
Tableau.III.3. Caractéristiques de l'absorbeur.....	30
Tableau III.4 :Caractéristiques de l'eau.....	31
Tableau III.5 : Données technique de solarimetre.....	34
Tableau IV.1 : Résultats des paramètres mesurés lors de la 1 ^{ère} expérience (13/05/2019).....	40
Tableau IV.2 : Résultats des paramètres mesurés lors de la 2 ^{em} expérience (14/05/2019).....	41
Tableau IV.3 : Résultats des paramètres mesurés lors de la 3 ^{em} expérience (15/05/2019).....	42
Tableau IV.4 : Résultats des paramètres mesurés lors de la 4 ^{em} expérience la date de(16/05/2019).....	49

Nomenclature

Nomenclature

F_c : Le facteur de concentration géométrique	[-]
L : longueur du miroir	[m]
F : La focale de la parabole	[m]
Ψ : L'angle d'ouverture	[degré]
Y : l'axe optique	[m]
a : la largeur de l'ouverture	[m]
G_{im} : La densité de flux radiant à la ligne focale	[w/m ²]
G_a : L'éclairement direct à l'ouverture du collecteur	[w/m ²]
A_a : La surface de collecteur	[m ²]
A_r : La surface du récepteur	[m ²]
C_G : La concertation géométrique	[-]
a_w : L'activité d'eau	[-]
P_V : La pression de vapeur d'eau	[Pa]
P_{eau} : La pression partielle d'eau dans l'atmosphère	[Pa]
λ_v : conductivité thermique du verre	[W/ (m.K)]
λ_c : conductivité thermique du cuivre	[W/ (m.K)]
T_e : Température d'entrée de l'eau	[°C]
T_s : Température de sorti de l'eau	[°C]
E : L'éclairement solaire	[w/m ²]
T_p : Température du tube en cuivre dans la chambre de séchage	[°C]
T_{1er} : Température de la chambre liée au concentrateur	[°C]
T_{2em} : Température de l'autre chambre	[°C]

Abréviations

Abréviations

CSP : centrales solaires parabolique

ASA : Agence Spatiale Allemande

LFR : concentrateur à réflecteur linéaire Fresnel

Introduction générale

Introduction générale

Introduction générale

La consommation énergétique a augmenté ces dernières années avec la croissance rapide dans les secteurs résidentiel, commercial et industriel. Pour le moment la demande énergétique en Algérie est assurée par les grands gisements de pétrole et surtout de gaz. Les problèmes engendrés par l'utilisation des énergies fossiles sont bien connus: pollution de l'air, effet de serre et production d'aérosols. Face à cela, Il est possible que dans certains cas précis d'autres sources d'énergie dites renouvelables. [1]

Actuellement, la conservation des ressources énergétiques est devenue une priorité à l'échelle planétaire, vue la demande vertigineuse en matière d'énergie, ce qui a poussé les spécialistes à trouver de nouvelles techniques, telles que les énergies renouvelables (solaire, éolien, hydraulique, et géothermie,...etc.) [2]

La réduction des réserves en combustibles fossiles et l'augmentation de la pollution atmosphérique ont relancé la recherche sur l'exploitation des énergies renouvelables et en particulier l'énergie solaire. Pour le souci de surmonter les problèmes d'épuisement des ressources en énergies fossiles et la pollution atmosphérique qui ne cesse d'augmenter, la science s'oriente de plus en plus vers la recherche et l'exploitation des énergies renouvelables et en particulier le gisement inépuisable d'énergie solaire. [2]

Il existe deux techniques distinctes pour la collection de l'énergie solaire qui peuvent être identifiées, la première catégorie est la technologie du solaire photovoltaïque qui consiste à transformé directement les photons en courant électrique, et le deuxième type est les concentrateurs solaire parabolique C.S.P. qui utilise des miroirs pour concentrer la lumière sur des petites surfaces afin de produire de la chaleur à haute température (entre 200 °C et jusqu'à plus de 1000 °C). [2][3]

Cette chaleur est ensuite utilisée dans un cycle thermodynamique pour d'autres utilisations industrielles ou domestiques, tel que la production d'électricité, chauffage des maisons ou des piscines et le séchage...etc.

Le séchage solaire, comme moyen de conservation des aliments, a été considéré comme le système le plus utilisé de l'énergie solaire. Le séchage des fruits, légumes et viandes est l'un des processus des grandes consommations d'énergie dans l'industrie de transformation alimentaire et constitue une meilleure méthode de réduire des dépenses et pertes après les récoltes. [4]

Introduction générale

Le séchage au soleil est la technique la plus ancienne et la plus répandue de conservation des aliments à travers le monde, principalement dans les pays en voie de développement qui sont souvent les plus ensoleillés mais aussi les plus nécessiteux. [5]

Le séchage est défini comme étant l'opération unitaire qui consiste à éliminer totalement, ou partiellement le solvant (très souvent l'eau) contenu à l'intérieur d'un matériau poreux, Dans cette opération ils interviennent deux phénomènes : le transfert de chaleur et le transfert de matière. [6]

Dans Ce travail nous allons présenter une étude expérimentale d'un concentrateur solaire cylindro-parabolique couplé à un séchoir solaire direct, dont l'objectif est d'améliorer les performances énergétique de séchage et de connaître les différents paramètres qui peut influencer sur le système de concentration solaire de type cylindro-parabolique en particulier le système de poursuite solaire et le débit de fluide caloporteur circulant dans le tube absorbeur.

Le travail effectué dans le cadre de ce mémoire est rédigé dans un enchaînement logique composé d'une introduction générale, quatre chapitres et une conclusion

Le premier chapitre donne quelques notions sur le rayonnement solaire et une généralité sur les concentrateurs solaires en particulier les concentrateurs cylindro-paraboliques.

Le deuxième chapitre présente les notions théoriques sur le séchage et les différents types des séchoirs solaires.

Le troisième chapitre concernant la présentation du dispositif expérimental de séchage, la réalisation de concentrateur cylindro-parabolique, et les appareils de mesures.

Le quatrième chapitre présente les résultats obtenus lors de notre expérience et leurs interprétations.

A la fin, nous avons terminé ce travail par une conclusion qui englobe une interprétation générale des résultats de l'étude.

**Chapitre I : Etude
théorique sur les
concentrateurs
solaires**

I.1. Introduction :

Les systèmes solaires, notamment les systèmes à concentration solaire sont de plus en plus sollicités pour contribuer à la satisfaction des besoins en énergie. La technologie des concentrateurs solaires vient d'atteindre un niveau très remarquable, en utilisant des réflecteurs afin de concentrer les rayons du soleil sur une petite surface. [1]

Le solaire à concentration (CSP) est une de ces technologies, qui connaît une forte croissance depuis quelques années, Cependant, par rapport aux ressources énergétiques fossiles combustibles, l'énergie solaire présente les caractéristiques inhérentes à la nature même de la ressource: intermittence de la disponibilité, fluctuation et faiblesse de la densité de flux énergétique. L'utilisation domestique ou industrielle de l'énergie nécessite une densité élevée et sa demande énergétique peut être en opposition de phase avec la période de disponibilité des énergies renouvelables de manière générale. En d'autres termes, l'énergie solaire ne couvre pas toujours les besoins.

Ce constat met en évidence la nécessité d'être capable de développer des moyens de stockage de l'énergie performant afin de fiabiliser et généraliser l'utilisation des énergies renouvelables [7]

I.2. Rayonnement solaire [8]

C'est la partie de l'énergie rayonnée par le soleil dans l'espace sous forme d'ondes électromagnétique de différentes longueurs (0,25 à 4 microns).

A la traversée de l'atmosphère, le rayonnement solaire est affaibli par différentes causes, absorption proprement dite par les gazes et vapeurs de l'atmosphère, la diffusion moléculaire par ces gazes et vapeur l'affaiblissement par les particules de toutes sortes en suspension dans l'atmosphère. En dehors de l'atmosphère terrestre, il donne un éclairage énergétique à peu près constant égale à 1367 w/N^2 ; appelé de ce fait constante solaire. Le rayonnement solaire est caractérisé par les composantes suivantes :

I.2.1. Rayonnement direct :

Le rayonnement solaire direct se définit comme étant le rayonnement provenant du seul disque solaire. Il est donc nul lorsque le soleil est occulté par les nuages. Il est mesuré à l'aide d'un pyréliomètre constamment dirigé vers le soleil.

I.2.2. Rayonnement solaire diffus :

Dans sa traversée de l'atmosphère, le rayonnement solaire est diffusé par les molécules de l'air et les particules en suspension. Le rayonnement solaire diffus n'est donc nul que la nuit.

Il est mesuré à l'aide d'un pyranomètre auquel on adjoit un écran destiné à occulter le disque solaire.

I.2.3. Rayonnement réfléchi :

C'est la partie réfléchi par le sol. Il dépend de l'environnement du site.

I.2.4. Rayonnement solaire globale :

Il comprend l'ensemble des composants direct, diffus et réfléchi. Il est mesuré à l'aide d'un pyranomètre. Donc d'après les différentes formes du rayonnement on peut déduire la formule de rayonnement globale :

Rayonnement global = Rayonnement direct + Rayonnement absorbé + rayonnement réfléchi

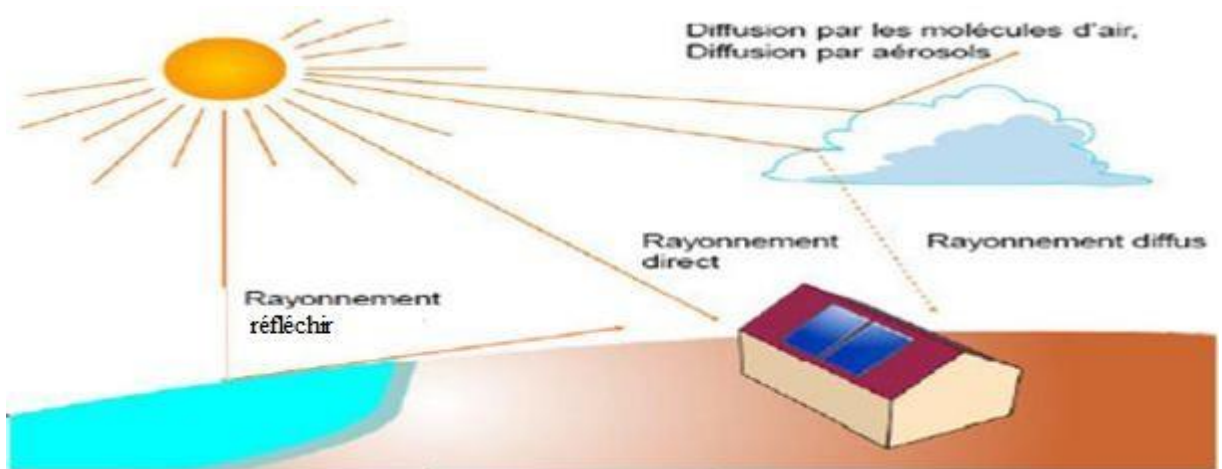


Figure I.1 : Rayonnes solaires

I.2.5. Gisement solaire en Algérie :

Ce gisement est un ensemble de donné décrivant l'évolution du rayonnement solaire disponible au cours d'une période donné. Il est utilisé pour simuler le fonctionnement d'un système énergétique solaire et faire satisfaire un dimensionnementsolaire le plus exact.

De par sa situation géographique, l'Algérie dispose d'un gisement solaire énorme comme le montre la figure I.2

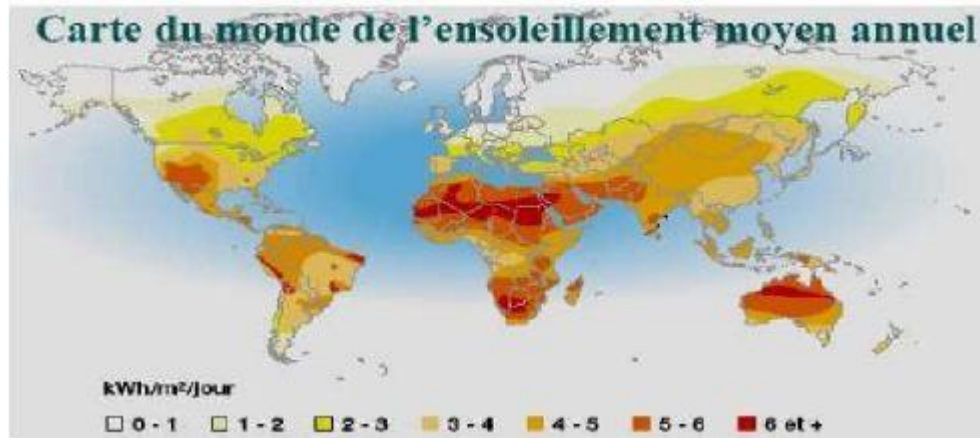


Figure I.2 : Carte du monde de l'ensoleillement moyen annuel

Suite à une évaluation par satellites, l'Agence Spatiale Allemande (ASA) a conclu, que l'Algérie représente le potentiel solaire le plus important de tout le bassin méditerranéen, soit 169.000 TWh/an pour le solaire thermique, 13,9 TWh/an pour le solaire photovoltaïque. Le potentiel solaire algérien est l'équivalent de 10 grands gisements de gaz naturel qui auraient été découverts à HassiR'Mel. La répartition du potentiel solaire par région climatique au niveau du territoire algérien est représentée dans le tableau I.1 selon l'ensoleillement reçu annuellement :

Tableau I.1 : Ensoleillement reçu en Algérie par régions climatiques [8]

Régions	Régions côtières	Hauts plateaux	Sahara
Superficie (%)	4	10	86
Durée moyenne d'ensoleillement	2650	3000	3500
Energie moyenne reçue	1700	1900	2650

La région d'Ouargla reçoit une quantité d'énergie solaire relativement forte, avec un nombre d'heures d'ensoleillement annuelles compris entre 3200 et 3600.

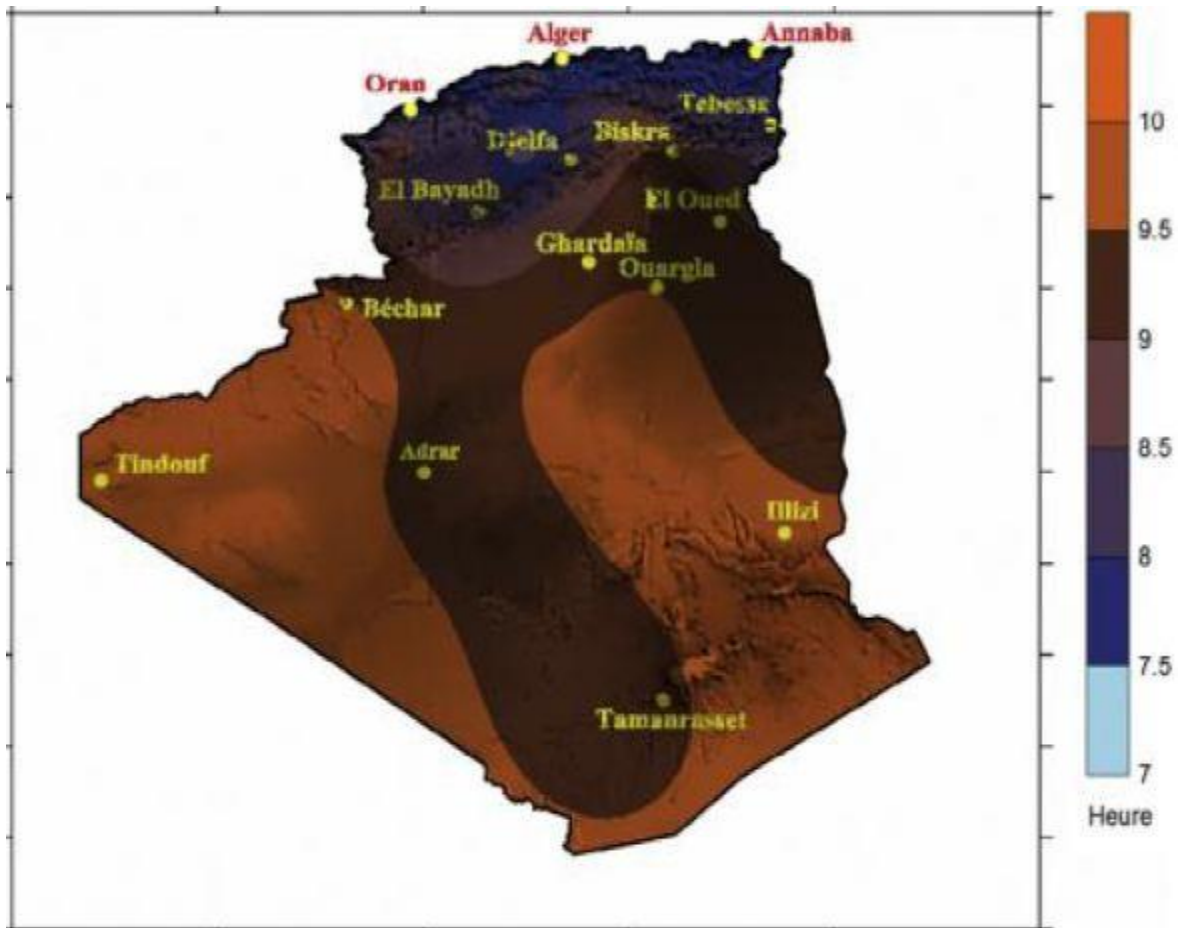


Figure I.3: Heures moyennes d'ensoleillement journalier (1996-2006)

I.3. Les concentrateurs solaires:

Les concentrateurs solaires focalisent les rayons du soleil dans un point comme la tour solaire et le concentrateur parabolique, ou dans une ligne comme le concentrateur cylindro-parabolique et les miroirs de Fresnel. Les concentrateurs en lignes possèdent généralement un facteur de concentration inférieur à ceux des concentrateurs ponctuels, ce facteur caractérise la géométrie générale d'un concentrateur. Il représente le rapport entre la surface de captation et la surface d'absorption. Les systèmes utilisant les concentrateurs solaires sont capables de générer des températures au voisinage de 1000°C , ces systèmes ont été initialement développés pour la production de chaleur et d'électricité. Les caractéristiques techniques principales de ces centrales solaires à concentration (CSP) sont présentées dans le tableau ci-dessous. [1]

Tableau I.2:Caractéristiques des centrales solaires à concentration [1]

Type de champ solaire	Facteur de concentration	Capacité d'unité (MW)	Prix du champ solaire (€/m ²)	Température d'opération (°C)
Miroirs de Fresnel	25-100	10-200	150-200	270-550
Cylindro-parabolique	70-80	10-200	200-250	390-550
parabolique	1000-3000	0.01-0.04	> 350	800-900
Tour solaire	300-1000	10-150	250-300	550-1000

L'objectif d'un système concentrateur est comme son nom l'indique, de concentrer les rayons du soleil d'une surface relativement grande (miroirs) vers une surface plus petite (récepteur).

Le facteur de concentration géométrique correspond au rapport entre la surface totale de collecte des miroirs, et la surface de réception des rayons concentrés. [3]

$$F_c = \frac{A_{\text{co}} \cos \theta}{A_{\text{rec}}} \quad (\text{I.1})$$

I.3.1. Principe de fonctionnement d'un concentrateur solaire :

L'énergie solaire peut être transformée en chaleur par l'intermédiaire d'un fluide (eau, air, etc.) circulant au contact d'une surface qui capte le rayonnement solaire, de cette façon on obtient un bon rendement de conversion de l'énergie solaire en chaleur. Cette technique permet la production de chaleur pour le chauffage domestique (système solaire combiné), l'eau chaude sanitaire, le chauffage des piscines etc. [9]

I.4. Les types des capteurs solaires à concentration :

I.4.1. Le concentrateur parabolique:

Le concentrateur parabolique représenté schématiquement sur la (figure I.4), est composé d'une surface réfléchissante qui concentre le rayonnement solaire incident à son foyer. La contrainte majeure est la nécessité de mobiliser la parabole selon deux axes de rotation pour

assurer la poursuite du soleil. Ceci entraîne une limitation de la dimension unitaire de ce concentrateur.

Trois types des surfaces réfléchissantes ont été utilisés, la première possibilité consiste en un dépôt d'argent ou d'aluminium à l'arrière d'une plaque de verre, la deuxième est basée sur le même principe mais on remplace la plaque de verre par un film plastique et la troisième possibilité consiste en des feuilles d'aluminium polies. Ces feuilles sont peu chères mais ont une faible réflectivité et une faible longévité.

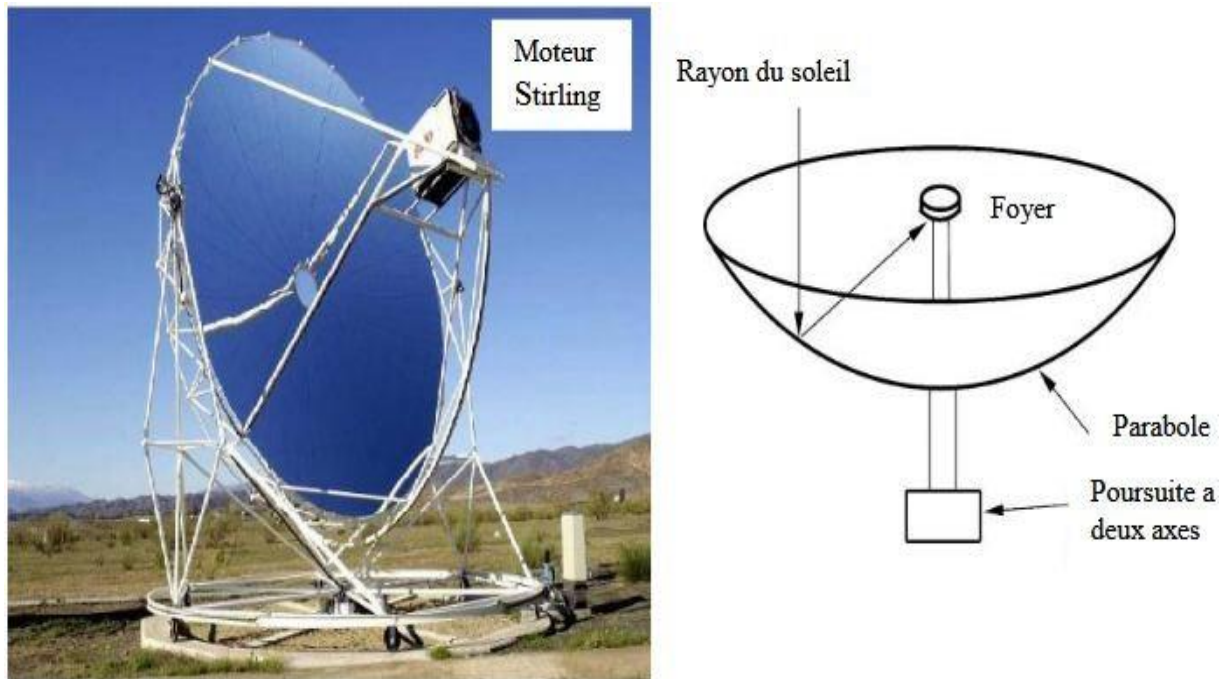


Figure I.4: Schéma d'un concentrateur solaire parabolique

I.4.2. Les centrales à tour :

Les centrales à tour ont été développées pour des installations destinées à une production à grande échelle, développant de fortes puissances et travaillant à haute température. Le principe de fonctionnement de la centrale est décrit sur la (Figure I.5). [7]

La tour solaire: Pour échapper aux limitations des tailles rencontrées avec le concentrateur parabolique, une tour en béton ou en poutres métalliques entourer par un champ de nombreux miroirs appelés "héliostats". Les héliostats actuels ont une surface située entre 50N^2 et 120N^2 et chaque héliostat poursuit le soleil individuellement sur deux axes pour concentrer le rayonnement solaire direct vers un receveur au sommet de la tour solaire, ce qui permet d'atteindre des températures importantes, mais l'ombre portée de la tour sur le champ d'héliostats influe directement sur l'efficacité du système. A ce jour, la seule application de la tour solaire est la production d'énergie électrique dans un système dénommé centrale à tour.

Les deux fluides caloporteurs les plus utilisés dans ces centrales sont la vapeur d'eau, l'air et les sels fondus.

La production de la vapeur d'eau par centrale à tour a fait l'objet de plusieurs projets de recherche, cette technologie a été abandonnée à cause des problèmes critiques dus à la surchauffe de la vapeur. La vapeur d'eau a ensuite été remplacée par des sels fondus, qui ont l'avantage d'être également un moyen de stockage de l'énergie calorifique. Un nouveau concept de récepteur à air a alors été mis au point, l'air atmosphérique aspiré au travers d'un récepteur volumétrique, ce récepteur utilise un maillage de fils métalliques directement exposés à la radiation solaire incidente. Seulement, quelques projets de recherche ont été réalisés et ont surtout porté sur l'amélioration du rendement des récepteurs volumétriques. [1]

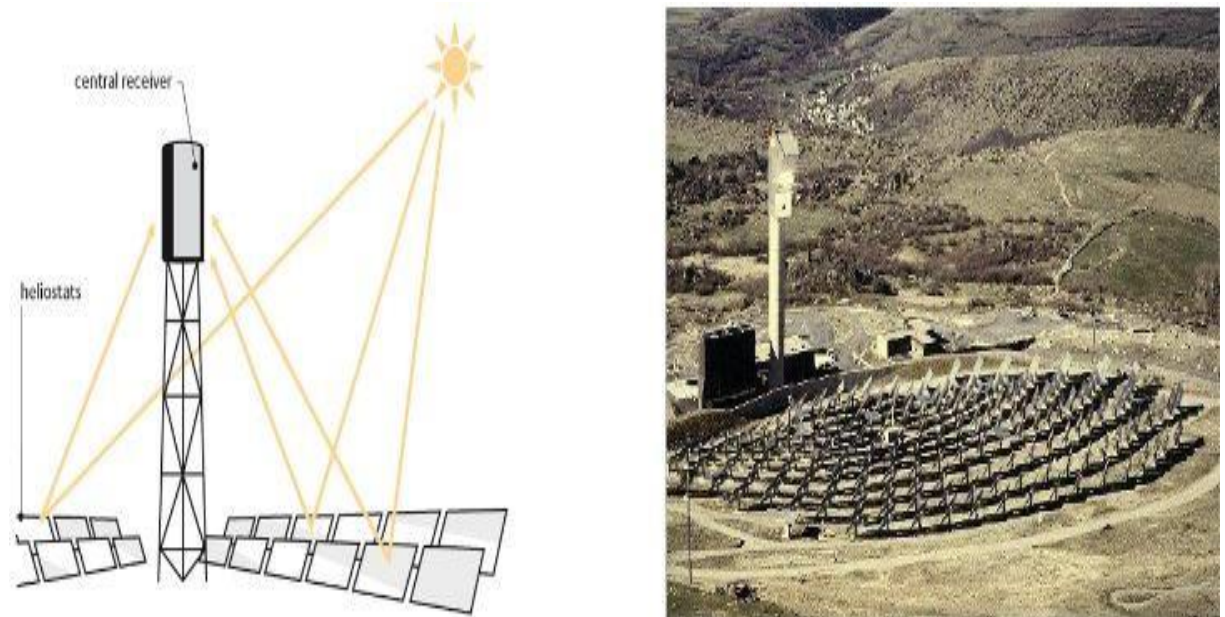


Figure I.5: Schéma de principe d'une centrale à tour

I.4.3. Les centrales linéaires Fresnel :

Un concentrateur à réflecteur linéaire Fresnel (LFR) utilise des miroirs plans pour concentrer le rayonnement solaire sur un récepteur fixe situé au-dessus du champ solaire (Figure I.6). Le récepteur est généralement composé d'un absorbeur et d'un réflecteur secondaire. Le réflecteur secondaire concentre le rayonnement qui n'atteint pas directement l'absorbeur. Il permet de réduire la surface de l'absorbeur, ce qui diminue les pertes et apporte une homogénéité au flux collecté. L'absorbeur fixe peut être tubulaire, multitubulaire ou correspondre à une surface plane. Contrairement à un absorbeur mobile, cette technologie limite les contraintes mécaniques et d'étanchéité en bout de ligne. Les miroirs plats ainsi que la structure métallique permettent une réduction des coûts par rapport aux réflecteurs

paraboliques. La proximité au sol et la géométrie des miroirs réduisent les contraintes dues aux vents et facilite le nettoyage. [7]

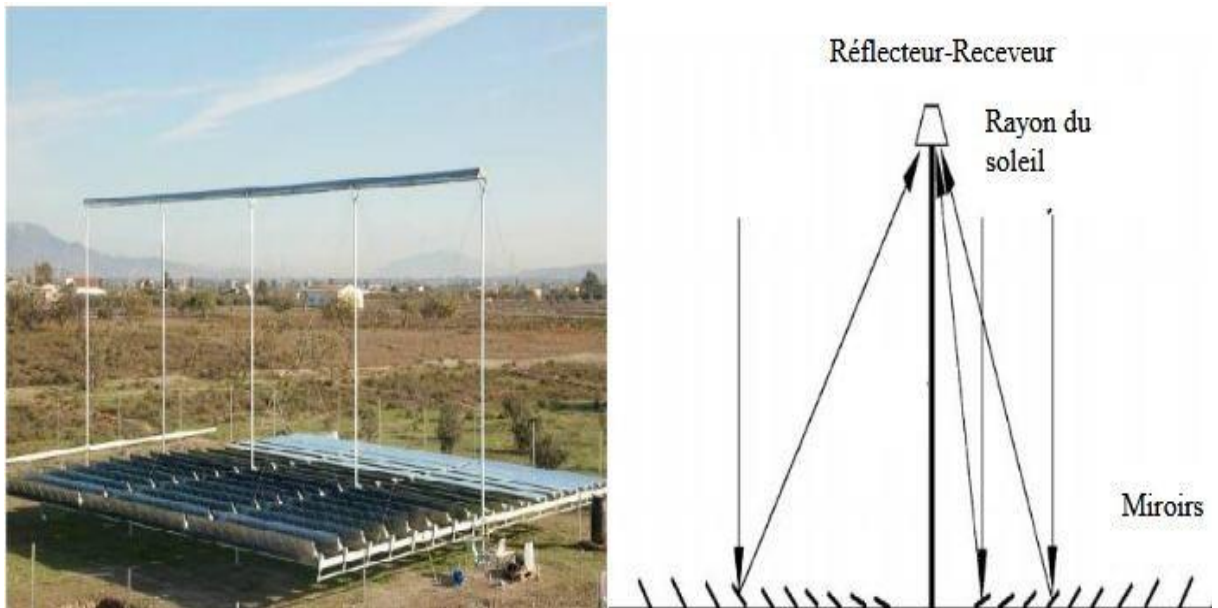


Figure I.6:Schéma d'un concentrateur solaire de Fresnel

I.4.4. Le capteur solaire cylindro-parabolique:

Le capteur cylindro-parabolique est constitué d'un miroir cylindro-parabolique linéaire qui collecte et concentre le rayonnement solaire sur un tube récepteur placé le long de sa ligne focale. Pour les systèmes à miroirs cylindro-paraboliques, les facteurs de concentration atteignent 80. La structure portante est munie de joints de dilatation assurant la compatibilité entre les dilatations thermiques inégales des divers composants. Le rôle du mécanisme de poursuite est d'adapter l'inclinaison du capteur de manière à ce que la radiation solaire incidente soit toujours perpendiculaire au réflecteur. De cette manière, la radiation est réfléchie au foyer de la parabole et concentrée sur un tube récepteur dans lequel circule le fluide caloporteur. L'ensemble de concentrateur cylindro-parabolique est mobile, il est orienté selon un axe nord-sud et suit la course de soleil d'est en ouest. [10] Un collecteur cylindro-parabolique est constitué de deux principales entités, voir la (Figure I.7) et (figure I.8).



Figure I.7: Description d'un collecteur cylindro-parabolique

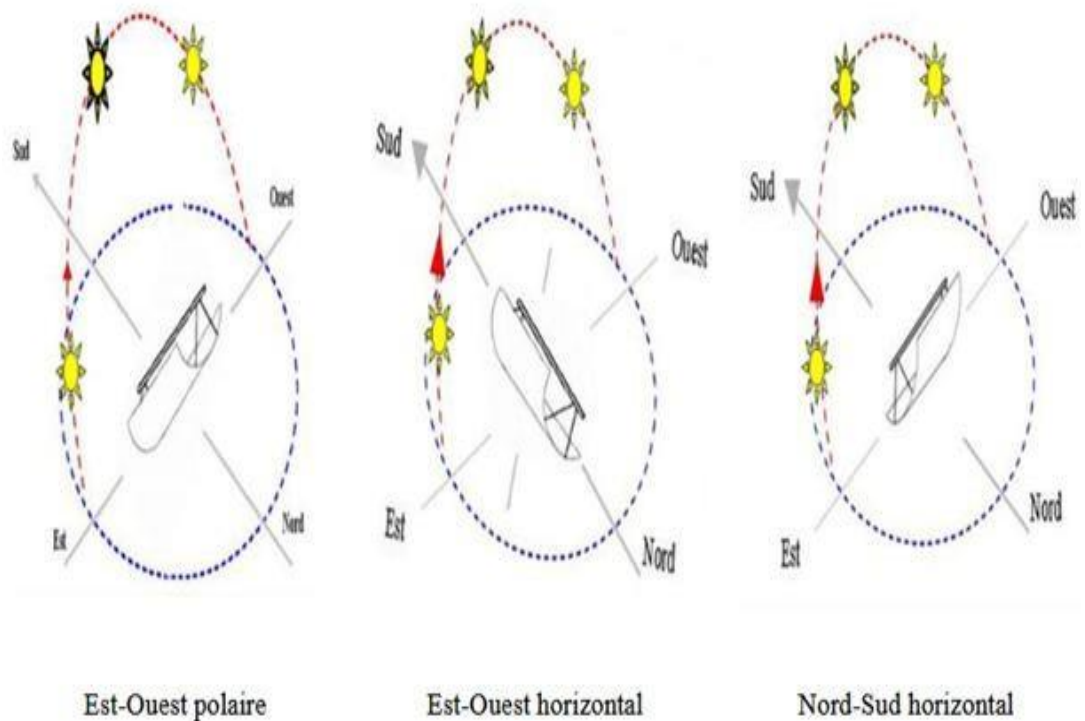


Figure I.8 : Modes de poursuite solaire d'un CCP

I.4.4.1. La géométrie et l'optique des concentrateurs cylindro-parabolique: [11]

Pour pouvoir choisir un réflecteur cylindro-parabolique, Le concentrateur cylindro-parabolique est caractérisé par deux paramètres principaux. Les paramètres géométriques et les paramètres optiques.

I.4.4.1.1. Les paramètres géométriques:

Les quatre paramètres suivants sont utilisés pour caractériser la forme et la taille d'un cylindro parabolique: la longueur de cylindro-parabolique, la distance focale, la largeur de l'ouverture et l'angle d'ouverture. (Figure I.9)

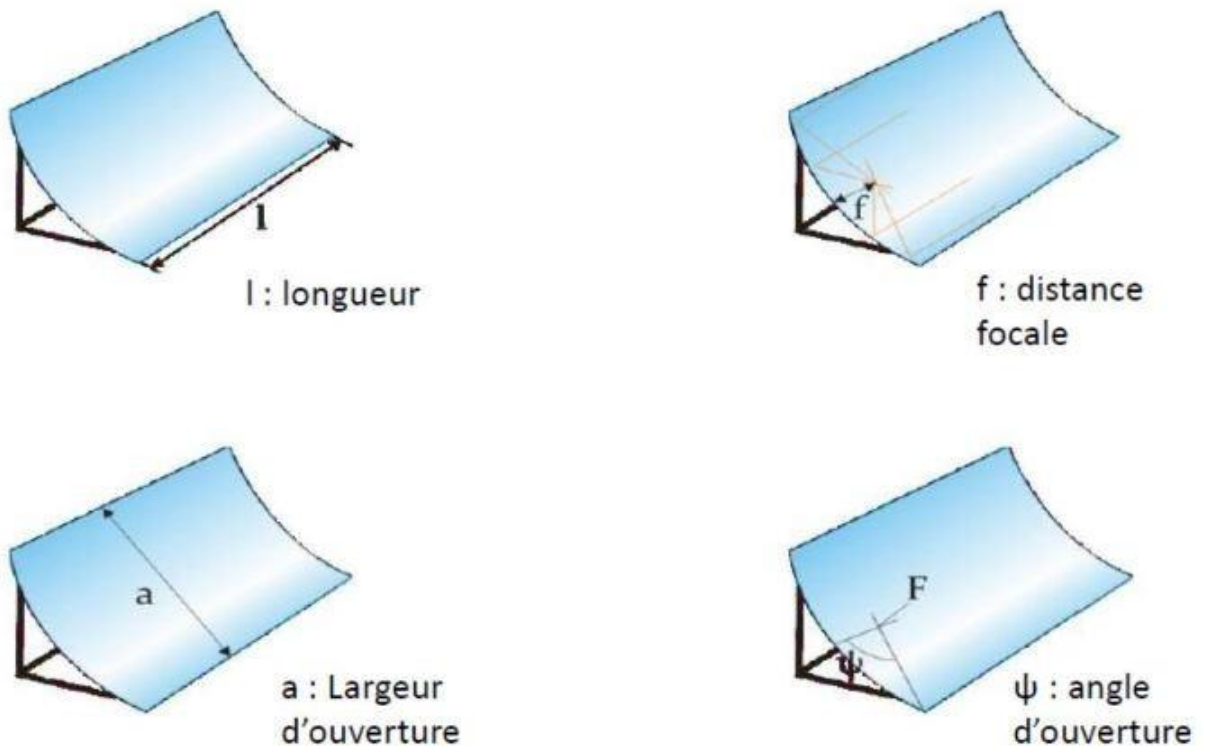


Figure I.9: Paramètres géométriques d'un cylindro parabolique

A. La longueur de cylindro parabolique l :

C'est la longueur du miroir, elle peut atteindre les 4.06 m.

B. La distance focale:

C'est la distance entre le point focale et la courbe de la parabole.

La focale de la parabole (f ou F) est le paramètre qui décrit la forme de la parabole.

L'équation de parabole est:

$$y = \frac{1}{4f}x^2 \quad (1.2)$$

C. L'angle d'ouverture (ψ):

C'est l'angle au point focal entre l'axe optique (Y) et le segment reliant le point focal au bord du miroir.

Deux des trois paramètres de l'angle d'ouverture, de la largeur d'ouverture et de la distance focale sont suffisants pour déterminer complètement la section transversale d'un cylindro-parabolique, c'est-à-dire la forme et la taille. Cela signifie également que deux d'entre eux sont suffisants pour calculer le troisième. Ψ Peut être exprimée en fonction du rapport entre la largeur d'ouverture et la distance focale:

$$\tan \Psi = \frac{\frac{a}{f}}{2 - \frac{1}{8} \left(\frac{a}{f}\right)^2} \quad (1.3)$$

Aussi le rapport de la largeur de l'ouverture à la focale peut être exprimé en fonction de l'angle d'ouverture:

$$\frac{a}{f} = -\frac{4}{\tan \Psi} + \sqrt{\frac{16}{\tan^2 \Psi} + 16} \quad (1.4)$$

L'angle d'ouverture est lié à la distance entre les différentes parties des miroirs et la ligne focale.

Il existe un angle d'ouverture optimal qui prend en compte aussi le prix du miroir proportionnel à sa surface. L'angle d'ouverture des cylindro paraboliques réelles est d'environ 80 °.

D. La largeur de l'ouverture a:

La plupart des collecteurs réels sont d'une largeur d'ouverture d'environ 6 m, la distance focale est (approximativement à l'angle d'ouverture et à la largeur d'ouverture) d'environ 1,75 m et la longueur du module est comprise entre 12 et 14 m. Il existe des collecteurs qui ont des largeurs d'ouverture plus petites (Solarlite) ou plus grandes (Skyfuel, Heliotric) avec différentes longueurs focales correspondantes.

I.4.4.1.2. Les paramètres Optiques:

A. La surface du miroir et la surface d'ouverture:

Pour un (rayonnement normal direct) et position solaire données; la surface d'ouverture de miroir est calculée comme le produit de la largeur de l'ouverture **a** et de la longueur du collecteur **l**.

$$A_a = a \cdot l \quad (1.5)$$

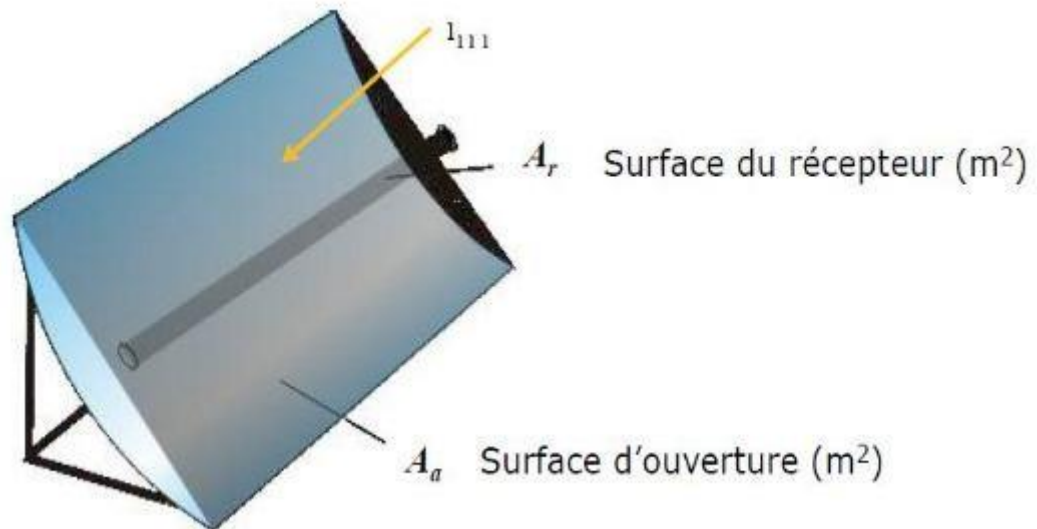


Figure I.10 : Surface d'ouverture du collecteur et du récepteur

La surface d'un cylindro-parabolique peut être importante pour déterminer le besoin de matière pour la fabrication. La surface est calculée comme suite:

$$A = \left(\frac{a}{2} \sqrt{1 + \frac{a^2}{16f^2}} + 2 \cdot f \cdot \ln \left(\frac{a}{4f} \sqrt{1 + \frac{a^2}{16f^2}} \right) \right) \cdot l \quad (I.6)$$

B. Le facteur de concentration C :

Le taux de concentration est l'un des paramètres principaux du collecteur, il est décisif pour les températures de fonctionnement possible de la centrale cylindro parabolique. Le rapport de concentration C est défini comme le rapport de la densité de flux radiant à la ligne focale G_{iN} à l'éclairement direct à l'ouverture du collecteur G_a :

$$C = \frac{G_{iN}}{G_a} \quad (I.7)$$

Aussi, Il existe un moyen simple de spécifier le taux de concentration sans le mesurer, qui est la concentration géométrique. Elle est définie comme le rapport de la surface de collecteur sur la surface du récepteur:

$$C_G = \frac{A_a}{A_r} \quad (I.8)$$

Comme il est illustré sur la figure précédente, concernant la surface du collecteur, elle est plus claire à compter que la surface du récepteur. Dans de nombreux cas, la surface projetée du tube absorbeur est choisie. Dans ce cas, la surface d'ouverture du récepteur est un rectangle avec de surface $d.l$.

Alors, la concentration géométrique est donné par :

$$C_G = \frac{a.l}{d.l} = \frac{a}{d} \quad (I.8)$$

Dans les concertateurs cylindro paraboliques réels; on prend la surface d'ouverture de récepteur, c'est la surface du tube absorbeur:

$$C_G = \frac{a.l}{\pi.d.l} = \frac{a}{\pi.d} \quad (I.9)$$

Cette définition mène à un taux de concentration géométrique faible. Donc, le taux de concentration selon la surface projetée du tube absorbeur est pratiquement le plus utilisé.

I.5. Conclusion :

On a présenté dans ce chapitre un aperçu général sur la source d'énergie solaire en Algérie etles différents concentrateurs solaires, en particulier lesconcentrateurssolaires cylindro-prabolique, ses constitutions et ses paramètres optiques et géométriques.

Chapitre II :
Généralité sur le
séchage et les
séchoirs solaires

II.1. Introduction :

Les fruits et les légumes sont dans la plupart des cas, consommés frais et leur valeur nutritive est alors élevée. Les fruits et les légumes saisonniers sont disponibles et consommés pendant une très courte période. Ils doivent donc être conservés pour être consommée en dehors de la saison de récolte. Plusieurs technologies sont employées dans l'industrie pour la conservation des fruits et légumes; les méthodes les plus importantes sont la mise en conserves, la congélation et le séchage.[12]

Le séchage est l'une des méthodes courante de conservation de la plupart des produits agroalimentaires, par diminution de leur teneur en eau jusqu'à des valeurs résiduelles, Il permet de convertir des denrées périssables en produits stabilisés, par abaissement de l'activité d'eau (a_w) jusqu'à une valeur inférieure à 0,5 où le développement de tout micro-organisme est inhibé. Le stockage est alors possible dans des conditions ambiantes. [5][12]

Il existe plusieurs critères pour classer les séchoirs solaires, parmi les plus importants on cite le séchage direct et le séchage indirect.

II.2. Principe de séchage:

La première idée qui vient à l'esprit pour sécher un produit est de le porter à la température d'ébullition pour vaporiser l'eau. En réalité, ce principe n'est pas le plus employé et on préfère souvent opérer à température moins élevée en utilisant l'air comme gaz d'entraînement. [13]

II.2.1. Séchage par ébullition :

Le séchage par ébullition aura lieu lorsque le flux thermique transféré au produit est très intense à cause d'un écart de température très élevé entre la source chaude et le produit (par conduction sur une surface chaude, séchoirs cylindres....etc.), dans toutes ces conditions la température du produit atteint un niveau tel que la pression de vapeur d'eau de ce produit est égale ou dépasse la pression totale ambiante [14]

II.2.2. Séchage par entraînement :

L'énergie est apportée par un gaz vecteur en mouvement, généralement de l'air chaud. Ce gaz est conditionné de manière à ce que sa température soit supérieure à celle du produit, et la pression de vapeur d'eau P_v dans le produit est supérieure à la pression partielle d'eau P_{eau} dans l'atmosphère qui l'entourne [15].

II.3. Processus de séchage :

Le séchage par convection à mettre en contact un gaz (généralement air chaud et de faible hygrométrie) en écoulement autour du corps à sécher. Ce courant gazeux assure à la fois l'apport de chaleur nécessaire à l'évaporation du liquide et l'enlèvement de la vapeur produite. Entre l'entrée et la sortie du séchoir, le gaz se refroidit en même temps qu'il se charge d'humidité. Dans le cas du solide, on observe une diminution progressive de sa teneur en eau et une augmentation de sa température au cours du séchage. [13]

Pour favoriser le séchage, il est souvent amené à fournir l'énergie nécessaire pour vaporiser le liquide que l'on veut éliminer. Cette énergie peut être apportée avec les processus suivants :

II.3.1. Séchage par conduction

Dans ce mode de séchage, L'énergie thermique nécessaire au séchage est apportée non pas par un gaz en mouvement autour du produit à sécher, mais par contact direct entre le produit et une paroi chauffée. [16]

II.3.2. Séchage par convection:

C'est le mode de séchage le plus utilisé dans l'industrie chimique, l'échange thermique est réalisé grâce à un contact direct entre le solide humide et le gaz caloporteur. [16]

II.3.3. Séchage par rayonnement :

Dans ce mode de séchage, l'énergie nécessaire à l'évaporation est transmise par rayonnement. Ce procédé de séchage est très efficace pour l'élimination de l'eau, surtout lorsque le produit à sécher n'est pas thermosensible. [16]

II.4. Modes de séchage :[13]

Trois modes de séchage peuvent être distingués :

II.4.1. Séchage mécanique

C'est l'élimination du liquide par des forces purement mécaniques (pressage, centrifugation, compression, décantation et filtration...).

II.4.2. Séchage chimique

C'est un procédé basé sur l'utilisation de produits déshydratants (chlorure de calcium,...) pour extraire l'eau.

II.4.3. Séchage thermique

Ce type d'opération est essentiellement un transfert de masse nécessitant au préalable une activation de l'eau par une certaine quantité d'énergie apportée par un transfert de chaleur.

II.5. Cinétique de séchage:[13]

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

Tous les travaux de séchage montrent que les courbes de la vitesse de séchage en fonction du temps se distinguent suivant la nature du produit Figure (II.1). Mais d'une manière générale, on remarque que l'allure de séchage décompose en trois périodes principales :

- **phase 0** : Période transitoire.
- **phase I** : Période à vitesse de séchage constante.
- **Phase II**: Période à vitesse de séchage décroissante

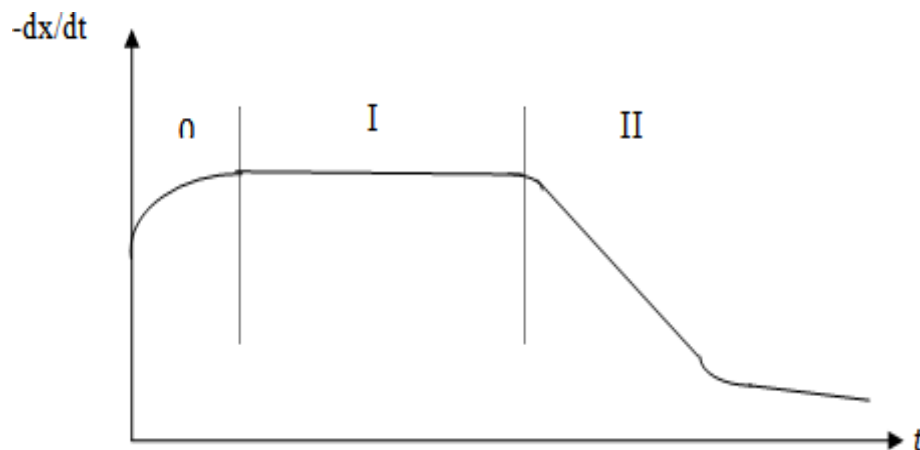


Figure II.1 : Périodes du séchage

Phase 0 : Période de mise en température:

Dans cette période, L'humidité du produit varie mais pas sensiblement et leur température varie (croît ou décroît) jusqu'à la température humide.

Phase I : Période à vitesse de séchage constante:

Dans cette période, la vitesse de séchage reste à peu près constante pour la plupart des produits. L'humidité se déplace vers la surface à l'état liquide principalement sous l'effet de la température de bulbe humide; l'activité de l'eau à la surface du produit est alors égale à 1 et le séchage est dit isenthalpique.

Phase II: Période à vitesse de séchage décroissante :

Pour cette période, le flux de chaleur entrant est égal aux flux nécessaire à l'évaporation de l'eau sortant du produit. Cette période est caractérisée par une diminution de la vitesse de séchage. Le ralentissement de la vitesse de séchage est dû aux contraintes de la migration de l'eau de l'intérieur du produit vers sa surface.

II.6. Influence des paramètres de l'air sur la Cinétique de séchage : [12]**II.6.1. Influence de la température de l'air :**

La température de l'air asséchant influe considérablement sur la vitesse de séchage. Cette influence est due à l'apport de chaleur au produit qui croît avec la température de l'air. L'effet de la température de l'air de séchage a été étudié par de nombreux chercheurs, par exemple pour le cacao (Ndukwu, 2009), le haricot vert (Doymaz, 2005)... etc. Ces auteurs ont constaté que le temps de séchage diminuait avec l'augmentation de la température de séchage.

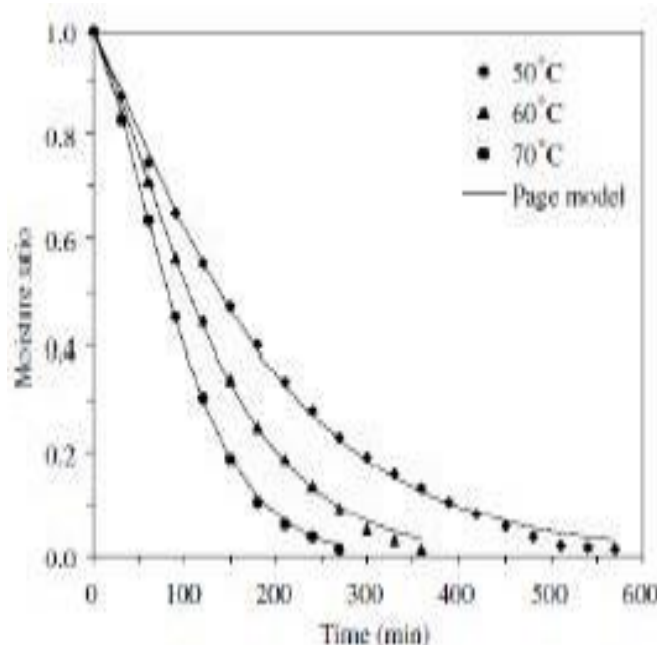


Figure II.2. Cinétique de séchage de haricots verts (Doymaz, 2005)

II.6.2. Influence de l'humidité de l'air :

Une diminution de l'humidité relative entraîne une diminution du temps de séchage et une accélération du processus de séchage. La Figure II.3 montre un exemple de L'effet de l'humidité relative a été étudié par Román and Hensel (2011) sur les feuilles de céleri.

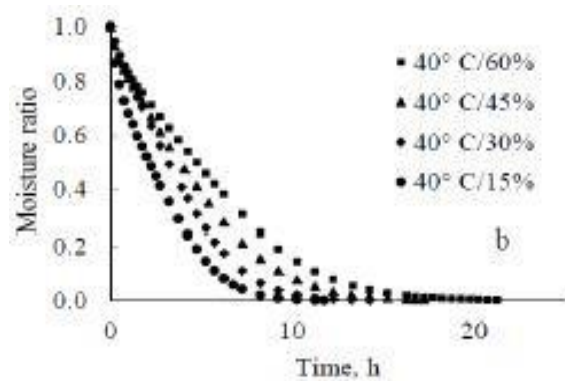


Figure II.3. Effet de l'humidité relative de l'air sur les courbes de séchage des feuilles de céleri à 40°C (Román&Hensel, 2011)

II.6.3. Influence de la vitesse d'air :

La vitesse d'air agit positivement sur la cinétique de séchage surtout au début de l'opération.

Cependant, pour des produits dont la cinétique de séchage est contrôlée par la migration interne de l'eau, l'influence de la vitesse d'air devient très faible.

Les résultats des auteurs peuvent être classés en trois groupes selon la description qu'ils font de l'influence de la vitesse de l'air sur la cinétique de séchage :

- Le premier groupe indique que l'influence de la vitesse d'air sur la cinétique de séchage est très faible.
- Le deuxième groupe constate que la vitesse d'air influence sur la vitesse de séchage : quand on augmente la vitesse, le temps de séchage est diminué et la vitesse de séchage est augmentée.
- Le troisième groupe constate également que la vitesse d'air influence sur la vitesse de séchage. Cependant, la vitesse d'air atteint une valeur limite (en fonction du produit à sécher) au-delà de laquelle il n'y a plus d'influence sur le temps de séchage

II.7. Classification des types de séchoirs solaires :[17]

Selon la forme d'énergie consommée, il y a des séchoirs électriques, des séchoirs à gaz et des séchoirs hybrides. Plusieurs gammes de séchoirs solaires existent : les séchoirs directs, indirects et mixtes.

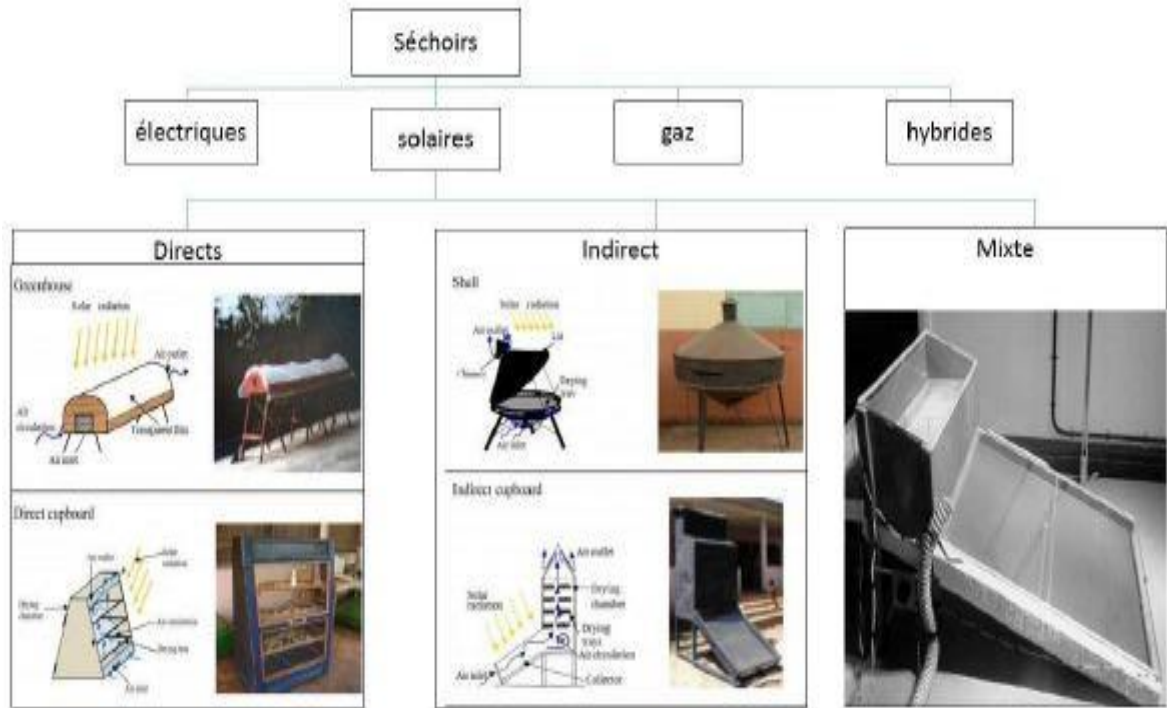


Figure II.4. Différents types des séchoirs solaires

II.7.1. Les séchoirs solaires directs

Les séchoirs solaires directs ont une surface transparente par laquelle les rayons solaires passent avant de transférer leur énergie au produit. Cette surface transparente permet de protéger les produits contre la poussière et les insectes. Le produit est placé sur un plan de couleur noir qui absorbe l'énergie apportée par les rayons solaires. Cette énergie cause l'échauffement de l'air de la chambre de séchage et donc permet le séchage du produit. En l'absence de rayons solaires directs, il n'y a pas de séchage.

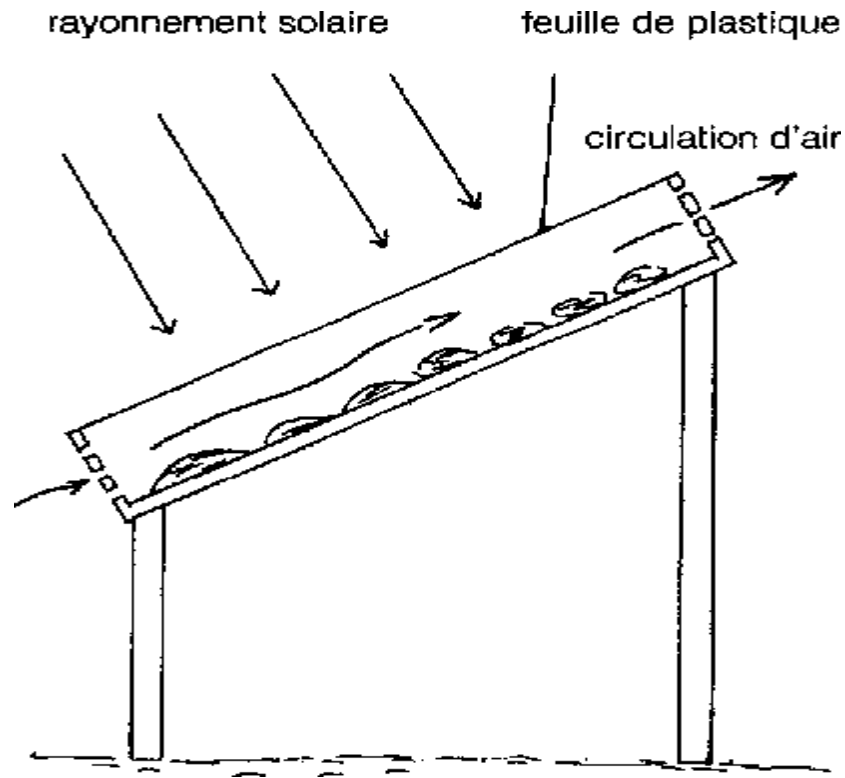


Figure II.5. Séchoir solaire direct

II.7.2. Les séchoirs Indirects :

Les séchoirs solaires indirects possèdent deux grandes parties : une chambre de séchage où se passe la déshydratation du produit, et un collecteur solaire qui permet de préchauffer l'air avant son entrée dans la chambre. Dans ce cas, le séchage se fait avec de l'air chaud qui passe sur les produits, leur transfère sa chaleur par convection, et se charge de l'humidité. La circulation de cet air peut être naturelle (phénomène de flottabilité) ou causée par un circulateur d'air. Lorsque la circulation est naturelle, on parle de séchoir solaire indirect à convection naturelle.

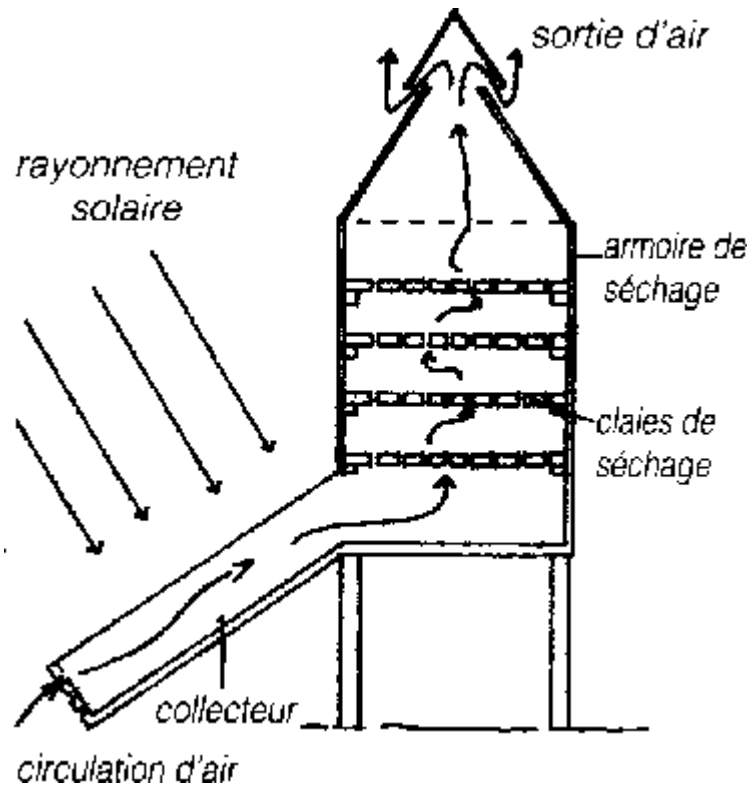


Figure II.6. Séchoir Indirect

II.7.3. Les séchoirs solaires mixtes :

Le séchoir solaire mixte est un mélange des deux types de séchoirs précédents. En plus du collecteur solaire qui préchauffe l'air avant son entrée dans la chambre de séchage, la partie supérieure transparente de la chambre de séchage laisse passer les rayons solaires qui arrivent sur les produits. C'est le séchoir le plus performant en termes de rapidité de séchage.

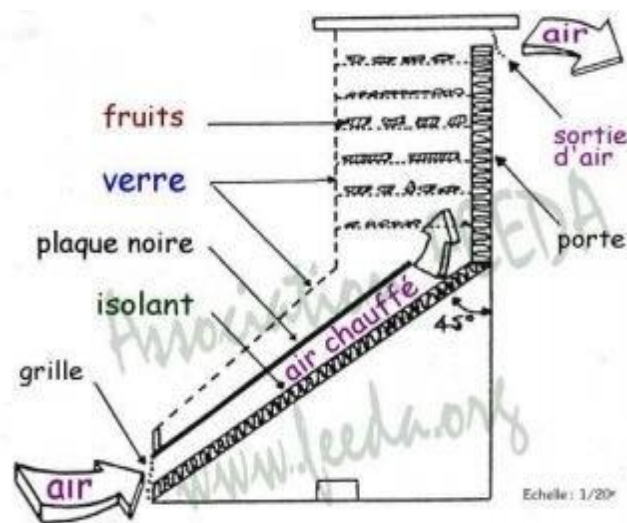


Figure II.7. Séchoir solaire mixte

II.7.4. Séchoirs solaire hybrides

Ce sont des séchoirs qui utilisent l'énergie solaire mais aussi une autre source énergétique consommatrice de réserves fossiles pour suppléer au chauffage et/ou à la ventilation.

Dans le monde d'aujourd'hui de la technologie de pointe, des séchoirs solaires hybrides sont le meilleur dispositif alternatif disponible pour le séchage solaire rapide des produits avec la qualité des produits requis.

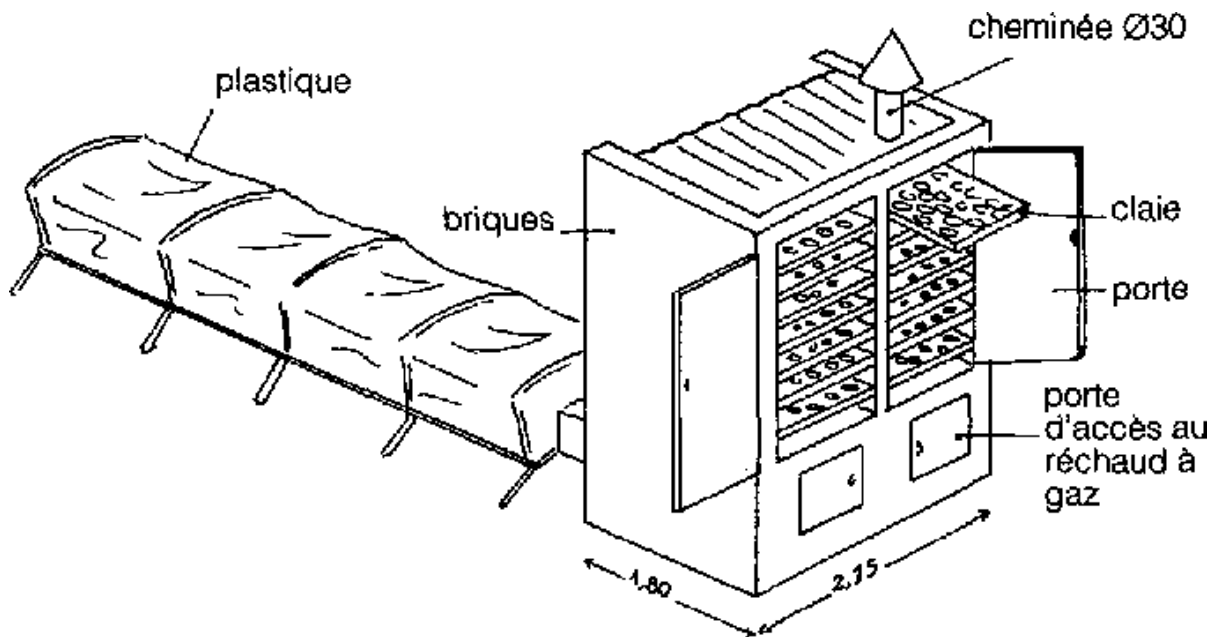


Figure II.8. Séchoirs solaire hybrides

II.8. Conclusion :

A partir de ce chapitre concernant le séchage et les séchoirs solaires, nous avons présenté des notions sur le principe, les modes et les paramètres qui influent sur le cinétique deséchage, D'autre part nous avons présenté les différent grandes catégorie des séchoirs solaires.

Chapitre III :
Réalisation d'un
concentrateur
cylindro-
parabolique

III.1 Introduction

Dans cette partie de notre travail, nous allons présenter les différentes étapes de l'amélioration du concentrateur cylindro-parabolique et son effet sur le séchoir solaire direct. Nous avons porté des modifications sur le concentrateur qui a été réalisé par Dr Soudani Med Elbar[18] dans le cadre de sa thèse de doctorat. Ces modifications consistent à placer un tube en cuivre teinté en noir, doté par une vanne pour adapter le débit fluide caloporteur, ce tube est revêtu par un autre tube en verre pour créer l'effet de serre.

Sachant que les essais ont été réalisés au niveau de l'université KasdimMerbah-Ouargla. Le concentrateur et le séchoir solaire ont été placés sur un terrain ouvert afin de capter le maximum de rayonnement pour avoir des résultats fiables.

III.2 Description des différentes parties du prototype :

Le concentrateur cylindro-parabolique réalisé est un capteur d'une longueur de 2 m et une largeur de 1.60 m, avec un système de poursuite solaire manuel. La Figure (III.1) illustre une photo réelle de prototype



Figure III.1 : Concentrateur cylindro-parabolique

Tableau :III.1. Propriétés optiques et thermiques du CSP [18]

Coefficient de réflexion	0.935
Absorption du revêtement sélectif	0.92
Emissivité du revêtement sélectif	0.14
Facteur d'interception	0.92
Chaleur spécifique de l'eau (J / Kg.K)	4182
Chaleur spécifique du cuivre (J / Kg.K)	381

III.2.1 Réflecteur :

Le principe d'un réflecteur c'est de refléter toute l'irradiation solaire qui vient de la source vers le tube qui se situe le long de la ligne focale, donc, cela veut dire qu'il faut utiliser un bon réflecteur. Dans notre cas on utilise deux plaques d'acier inoxydable, la longueur de chaque plaque est 1.90m avec une largeur de 1m.

Tableau III.2 :Caractéristique géométrique du réflecteur

Diamètre	0.06 m
Longueur L	2 m
L'angle d'ouverture w	1.60m
Distance focale F	0.20m
Surface d'ouverture	2.88 N ²

III.2.2 Absorbeur :

Le collecteur est formé de 2 tubes en verre montés en série (conductivité thermique du verre: $\lambda_v=1.2w/m.k$) de 1.2m de longueur, ces tubes en verre ont un diamètre de 2 cm et une épaisseur de 01 mm. A l'intérieur se trouve un tube en cuivre (conductivité thermique du

cuiivre : $\lambda_c=403$ w/m.k).de longueur de 2.50m avec un diamètre de 14 mm (voir la Figure III.2)



Figure III.2: Absorbeur

Tableau.III.3. Caractéristiques de l'absorbeur

Diamètre du tube (cuiivre)	0.14m
<i>Longueur</i> de tube (cuiivre)	2.50m
Diamètre du tube (verre)	0.20m
Longueur de tube (verre)	2.40m
Surface de captation	$0.628N^2$

III.2.2.1. Le jeu annulaire:

Le jeu annulaire entre le cuiivre (absorbeur) et le tube en verre joue un rôle très important afin d'augmenter la température par la création de le phénomène de l'effet de serre qui sert à piégé le rayonnement incident.

III.2.3. Le fluide caloporteur :

Dans notre cas on choisit l'eau comme un fluide caloporteur circulant dans un circuit ouvert. Le tableau ci-dessus présente les caractéristiques de l'eau:

Tableau III.4 :Caractéristiques de l'eau

Chaleur spécifique de l'eau	4180 J/kg.k.
conductivité thermique.	0,0059 w/m.k
Masse volumique	1000 kg/N ²
Température d'ébullition	100°C

III.2.4. Le support:

Le capteur cylindro-parabolique a été posé sur deux supports identiques en acier de longueur de 1.25 m (voir Figure3.8). Ce capteur peut pivoter autour des axes horizontaux ; tournant le capteur de haut en bas et d'un coté à l'autre, Cela nous permet d'orienter le capteur vers le soleil.



Figure III.3 : Support de concentrateur

III.3. Instruments de mesures :

III.3.1. Thermocouples :

Les thermocouples de type « k » (Nikel-chrome/nickel-aluminium) pouvant mesurer des températures allant de -50 à 900°C , permettant une précision de 0.75% , sont placés dans l'installation pour relever les températures des différents composants formant l'installation à savoir : le fluide caloporteur (eau), la température ambiante et l'absorbeur (voir figure III.4).



Figure III.4 : Thermocouple

III.3.2. Solarimètre :

L'instrument est conçu pour des mesures sur le terrain de l'irradiation solaire globale. Il est fourni avec un affichage numérique pour la lecture directe de l'éclairement énergétique en watts par mètre carré. Deux bornes de sécurité 4 mm sont fournies pour que le signal puisse, si nécessaire, être utilisé par un enregistreur de données. L'appareil est alimenté par

une batterie 9 volt block (fournie). [19] La Fig. (III.5) présente le Solarimètre utilisé aux cours des expériences.



Figure III.5 : Solarimètre

III.3.2.1. Fonctionnement de l'appareil :

L'instrument est très facile à utiliser. Il est allumé en utilisant le bouton on / off, le détecteur de cellule de silicium est orienté vers la direction de l'intérêt, et le global l'irradiance en watts par mètre carré peut être lue directement à partir de l'affichage numérique. Il est important d'orienter le détecteur dans la bonne direction. Pour obtenir une valeur pour l'irradiance solaire sur une surface horizontale, il devrait être placé sur une surface horizontale sans ombre couvrant le détecteur. Si l'irradiance globale sur par exemple un capteur solaire est souhaitée, puis le détecteur doit être orienté de telle sorte qu'il soit parallèle à la surface d'intérêt. Notez que l'instrument n'est pas conçu pour une installation extérieure permanente mais pour les mesures sur le terrain. [19]

III.3.2.1. Données techniques :

Le tableau ci-dessous présente les différentes données techniques de solarimètre

Tableau III.5 : Données techniques de solarimètre [19]

Dimensions	185 x 108 x 56 mm.
Alimentation	pile de 9V
Plage de mesure	0-1999 W / N ²
Résolution	1 W / N ²
Précision	+/- 5% de la pleine échelle

III.4. Montage et expériences des mesures :

III.4.1. La première installation :

L'installation est composée du capteur solaire cylindro parabolique, d'un réservoir de capacité de 5 litre pour stocker l'eau circulant en circuit, pour assurer l'écoulement dans le circuit en plaçant le réservoir à un niveau supérieur du collecteur. L'installation est dotée d'un Solarimètre pour mesurer l'éclairement solaire et des thermocouples pour mesurer les températures à l'endroit souhaité

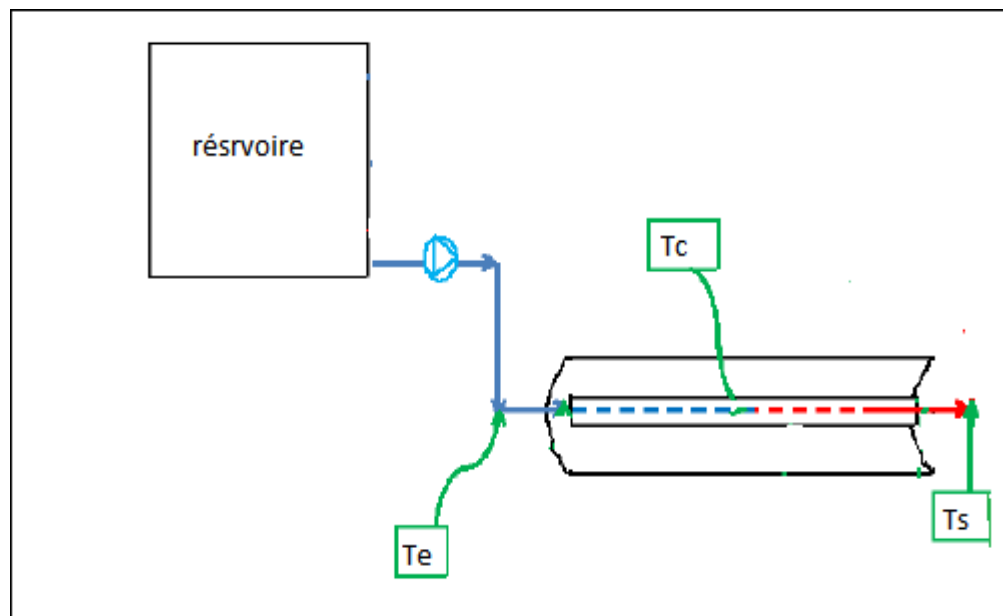


Figure III.6 : Schéma présente la première installation

III.4.1.1. Expériences et mesures :

Plusieurs expériences ont été réalisées en plein air derrière les laboratoires de physique à Faculté de Médecine et Mathématiques l'université Ouargla durant quatre jours à partir de 06/05/2019 jusqu'au 09/05/2019. La température en général était de 29°C environ. Notre concentrateur solaire a été orienté avec un système de poursuite manuel lors de la première expérience et vers le sud lors des autres expériences avec une bonne position qui a été mesurée par d'autres chercheurs (30° à l'horizon).

III.4.1.1.1. Première expérience :

On orientant le concentrateur solaire vers la lumière du soleil avec un système poursuite manuel, et nous suivons l'évolution de la température de l'eau du réservoir jusqu'à la sortie du collecteur à l'aide des thermocouples à l'entrée et à la sortie du collecteur, et autre thermocouple pour mesurée la température de collecteur. On mesure ensuite les températures à partir de 10:00 AM jusqu'à 17:00 PM



Figure III.7 : Utilisation de système de poursuite manuel

III.4.1.1.2. Deuxième expérience :

Dans cette expérience, nous fixons le concentrateur solaire vers le sud avec un angle de 30° à l'horizon, puis on mesure l'éclairement et les températures par la même méthode expliquée en 1ère expérience.



Figure III.8 : Positionnement de concentrateur vers le sud à 30°

III.4.1.1.3. Troisième expérience :

La même expérience que nous avons réalisée le deuxième jour, mais en réduisant le débit d'eau par exercer un étranglement un niveau de la vanne, pour augmenter le temps de contact avec l'absorbe (temps de séjour), et la prise les mêmes paramètres.

III.4.2. Deuxième installation :**III.4.2.1. Quatrième expérience :**

Dans cette expérience, nous avons utilisé deux séchoirs solaires directs, l'un des deux est couplé à un concentrateur cylindro-prabolique et doté d'un thermoplongeur à température constante $0c^0$, ce dernier est utilisé comme un générateur de débit, afin d'assurer la circulation de fluide caloporteur dans le circuit. Et nous commençons à suivre l'évolution des températures dans les deux chambres et la différence entre elles.



Figure III.9 : Montage de la deuxième installation



Figure III : Thermoplongeur

III.4.3. Problèmes rencontrés durant les expériences :

Les problèmes rencontrés lors de la réalisation du prototype de concentrateur parabolique

Se résumant comme suit :

- Difficile à relier le séchoir solaire avec le concentrateur Au moment où nous utilisons le système pour la suite manuel.
- Le problème du mouvement permanent pour suivre le soleil.
- Le problème de la concentration du rayonnement sur l'absorbeur.

III.5. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté la réalisation de notre prototype en deux parties, avec les expériences qu'en a pratiqué, en utilisant des appareils de mesure (Thermocouple, Solarimeter). A la fin nous avons cité les problèmes rencontrés.

Chapitre IV :
résultats et
discussion

IV.1. Introduction :

Dans ce chapitre, nous allons présenter en deux parties les résultats obtenus les Jours 13/14/15/16 Mai 2019 dans la région de Ouargla.

Dans la première partie, les résultats obtenus du concentrateur solaire sont les températures d'eau entrée et sortie, le débit d'eau et l'éclairement solaire.

Dans la deuxième partie nous avons présenté, le résultat de l'influence de concentrateur cylindro-parabolique sur la chambre de séchage, en particuliers les températures (la température ambiante, température de la paroi du tube en cuivre circulant dans la chambre de séchage, la température des deux chambres de séchage, et la différence entre elles.

IV.2. Résultats : Les résultats indiqués dans les tableaux suivant sont obtenus chaque 30 minute lors de nos expériences :

IV.2.1. Première partie :

A. Expérience n°1:

Tableau IV.1 : Résultats des paramètres mesurés lors de la 1^{ère} expérience date(13/05/2019)

Time (Meur)	Eclairement (w/m ²)	Débit (l/s)	Te (c ⁰)	Ts (c ⁰)
10:00	650	0.011	29	35,6
10:30	683	0.011	29	38,6
11:00	698	0.011	29	40
11:30	690	0.011	29	41,3
12:00	705	0.011	29	44,5
12:30	708	0.011	29	50
13:00	711	0.011	29	51,6
13:30	707	0.011	29	45
14:00	695	0.011	29	45,8
14:30	692	0.011	29	45,3
15:00	688	0.011	29	44,9
15:30	668	0.011	29	42,6
16:00	652	0.011	29	43,9
16:30	639	0.011	29	41,7
17:00	613	0.011	29	39,8

Avec Te : température d'entrée de l'eau

Ts : température de sorti de l'eau

B. Expérience n°2:Tableau IV.2 : résultats des paramètres mesurés lors de la 2^{em} expérience date (14/05/2019)

Time (Meur)	Eclairement (w/m ²)	Débit (l/s)	Te (c ⁰)	Ts (c ⁰)
10:00	632	0.011	28,3	32,1
10:30	686	0.011	28,5	36,8
11:00	572	0.011	28,4	38,3
11:30	560	0.011	29	39,3
12:00	590	0.011	28,6	41,9
12:30	615	0.011	28,8	43,6
13:00	608	0.011	29,3	46,8
13:30	606	0.011	29,5	49,3
14:00	583	0.011	29,2	43
14:30	560	0.011	28,9	44,3
15:00	525	0.011	28,7	39,2
15:30	480	0.011	28,8	37,1
16:00	416	0.011	28,6	36,2
16:30	370	0.011	28,3	36,8
17:00	292	0.011	28,2	35,7

Avec Te : température d'entrée de l'eau
Ts : température de sorti de l'eau

C. Expérience n°3:Tableau IV.3 : résultats des paramètres mesurés lors de la 3^{em} expérience (15/05/2019)

Time (Meur)	Eclairement (w/m ²)	Débit (l/s)	Te (c ⁰)	Ts (c ⁰)
10:00	479	0.0071	28,3	32,8
10:30	551	0.0071	28,2	37,9
11:00	593	0.0071	28,3	39,2
11:30	623	0.0071	28,4	39,3
12:00	643	0.0071	28,7	42,6
12:30	667	0.0071	29,1	46,7
13:00	661	0.0071	29,2	49,1
13:30	652	0.0071	29,4	48,7
14:00	457	0.0071	29,1	46,9
14:30	432	0.0071	28,9	42,3
15:00	398	0.0071	28,7	40,6
13:30	339	0.0071	28,9	41,8
16:00	312	0.0071	28,6	39,5
16:30	304	0.0071	28,4	38,8
17:00	295	0.0071	28,4	37,2

Avec Te : température d'entrée de l'eau

Ts : température de sorti de l'eau

IV.2.1.1. Evolution de l'éclairement lors des expériences :

Dans les courbes suivantes, nous montrons l'évaluation du rayonnement solaire qui suit le mouvement du concentrateur solaire pendant les jours des expériences.

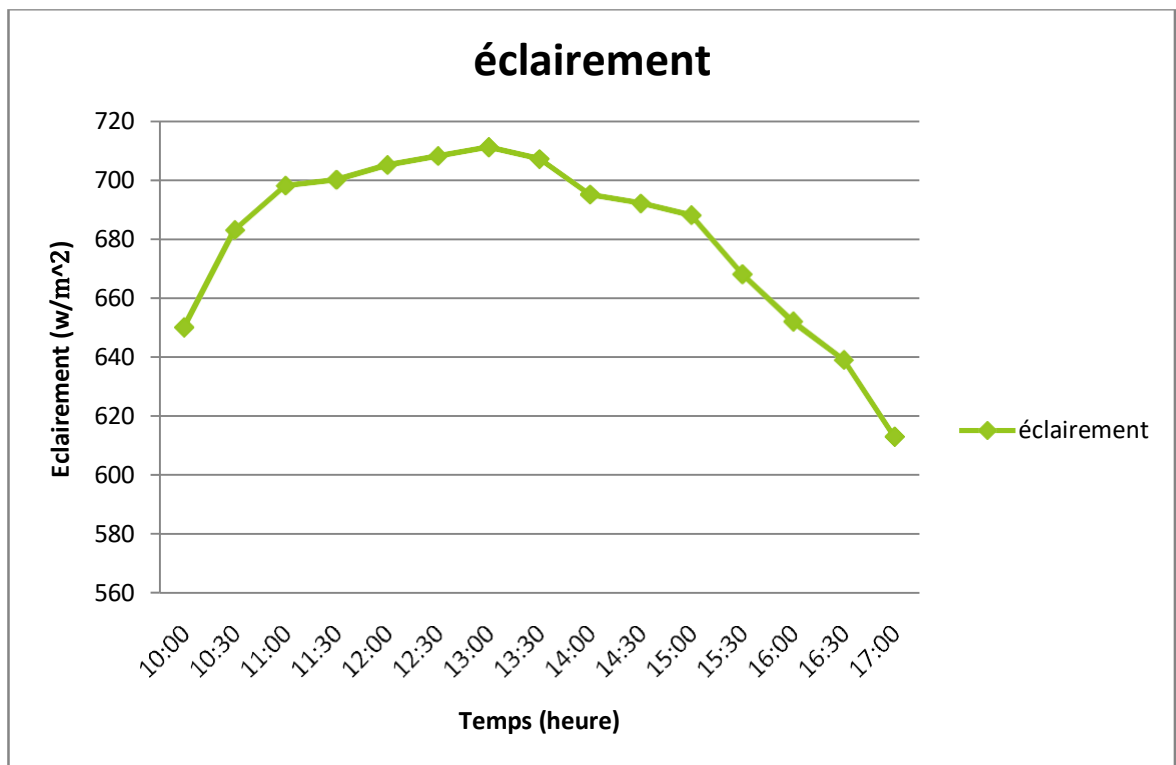
A. Expérience n°1

Figure IV.1 : Évolution de l'éclairement solaire pendant l'expérience n ° 1.

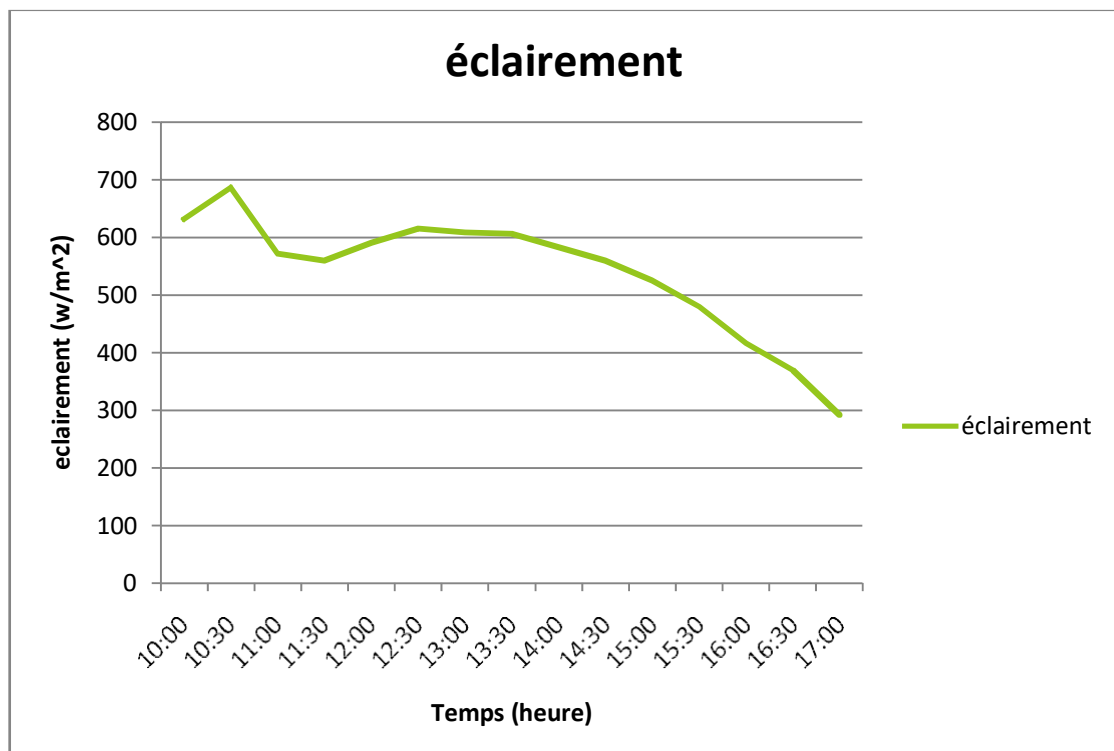
B. Expérience n°2

Figure IV.2 : Évolution de l'éclairement solaire pendant l'expérience n ° 2.

C. Expérience n°3

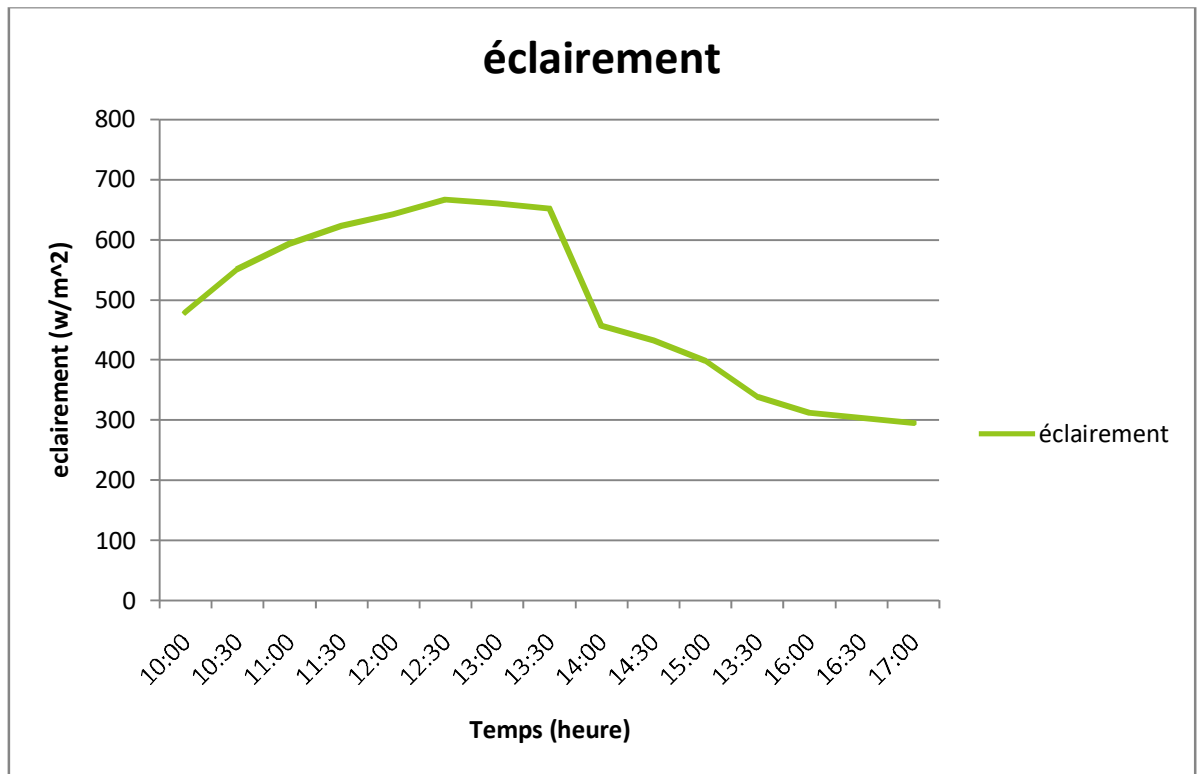


Figure IV.3 : Évolution de l'éclairement solaire pendant l'expérience n° 3.

Pendant les jours des expériences 13/14/15 mai 2019 nous avons remarqué que l'éclairement solaire a atteint des grande valeurs, plus de $E=700 \text{ w/N}^2$, ce qui montre que les ressources solaires thermiques dans la région de Ouargla sont importantes, les figures IV.1, IV.2 et IV.3 montrent que le système de poursuite solaire manuel (le positionnement du concentrateur cylindro-parabolique vers le soleil) influence directement sur la puissance de l'éclairement solaire reçu par le concentrateur cylindro-parabolique.

IV.2.1.2. Evolution de la température de l'eau :

A. Expérience n°1

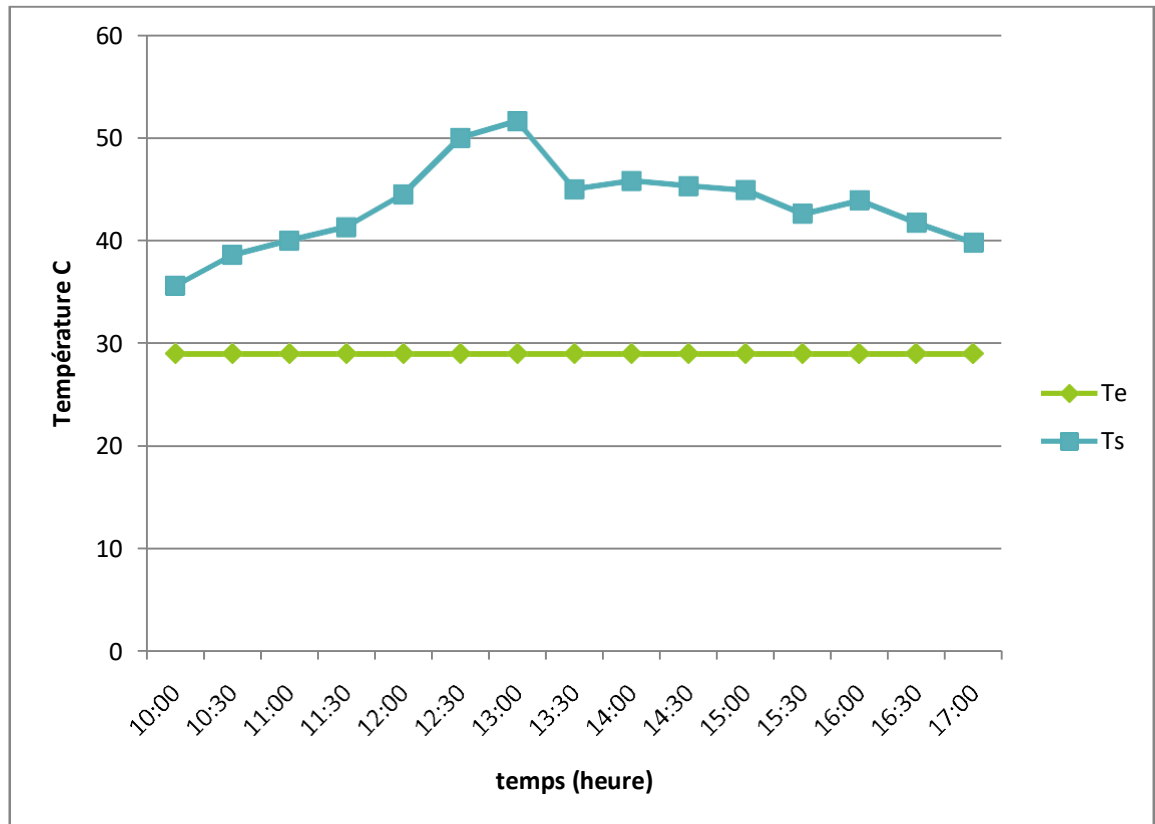


Figure IV.4 : Évolution de la température de l'eau au cours de l'expérience n ° 1.

Te : Température d'eau à l'entrée.

Ts : Température d'eau à la sortie.

Cette expérience est effectuée à l'aide d'un système de poursuite solaire manuel, Ce qui nous a permis de suivre la direction du soleil, nous avons remarqué que la température d'eau à la sortie de concentrateur atteint une valeur de 51.6°C avec un débit d'eau de 0.011(l/s) à 13h, puis elle va démunir progressivement.

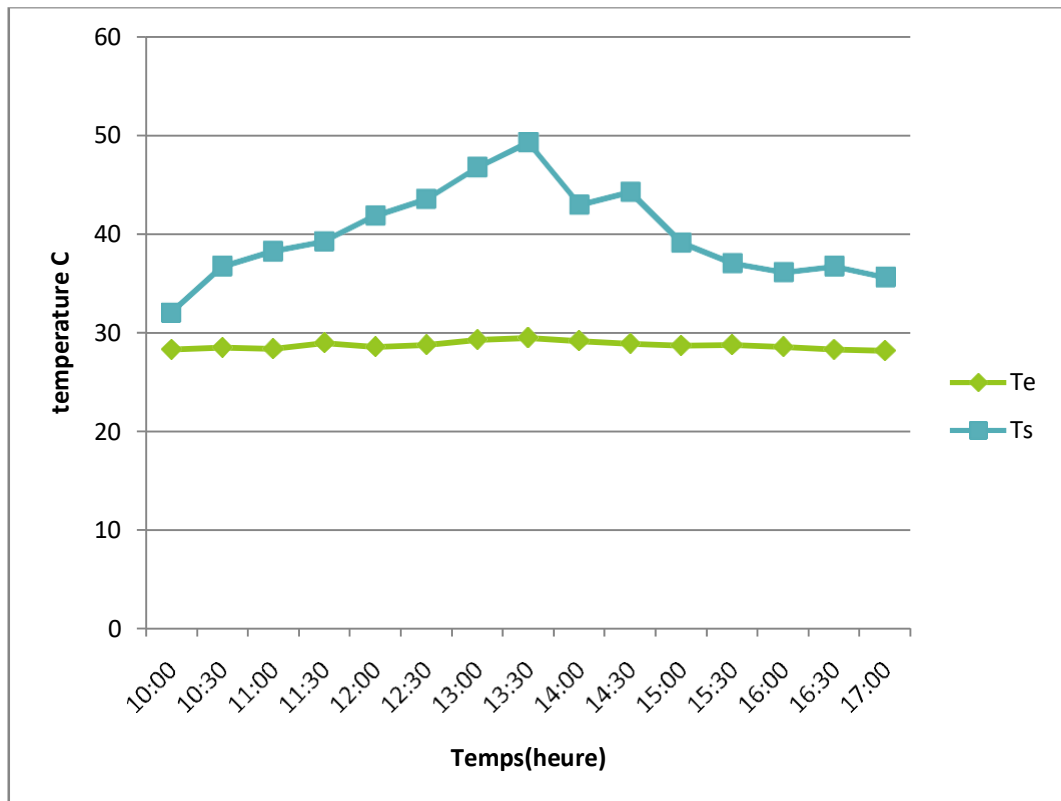
B. Expérience n°2

Figure IV.5 : Évolution de la température de l'eau au cours de l'expérience n ° 2.

T_e : Température d'eau à l'entrée.

T_s : Température d'eau à la sortie.

Le résultat de l'influence de la fixation de l'angle du réflecteur à 30° pendant l'expérience (sans système de poursuite solaire), a légèrement diminué car la grande valeur de température d'eau à la sortie ne dépasse pas 49.3°C avec un débit d'eau de 0.011 (l/s) à $13:30\text{PM}$, puis elle diminue progressivement.

C. Expérience n°3

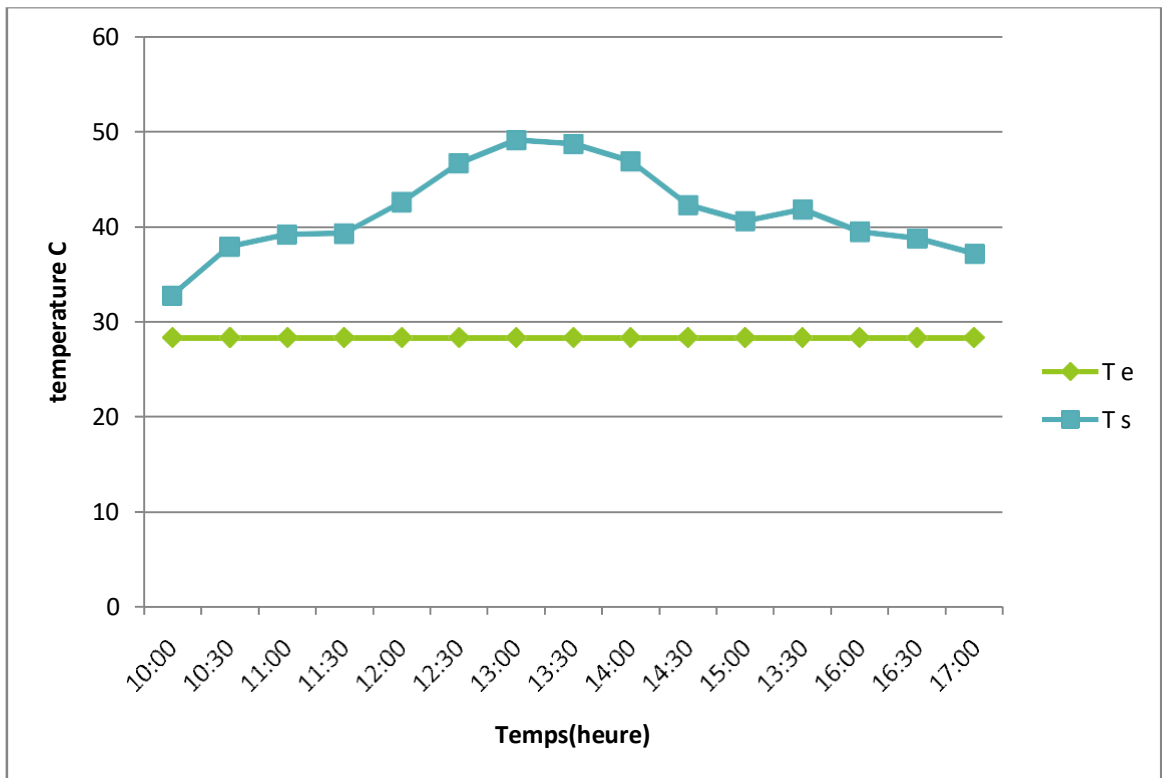


Figure IV.6 : Évolution de la température de l'eau au cours de l'expérience n°3.

Te : Température d'eau à l'entrée.

Ts : Température d'eau à la sortie.

Lorsque nous avons diminué le débit d'eau, et laissé le concentrateur fixé à la même position de l'expérience précédente la température d'eau à la sortie atteint une valeur de 49.1°C à 13 :00 PM avec un débit réduit de 0.0071 (l/s), puis elle diminue progressivement.

IV.2.1.3. Comparaison des résultats :

Nous allons comparer les résultats obtenus à partir des expériences réalisées en fonction de la température d'eau à la sortie du foyer de concentrateur, afin de connaître l'effet des différents facteurs (système de poursuite solaire et le changement de débit) sur les performances énergétiques du concentrateur cylindro-parabolique.

IV.2.1.3.1. L'effet de système de poursuite :

Pour étudier l'effet de système de poursuite nous allons comparer les résultats obtenus lors des expériences n°1 et n°2:

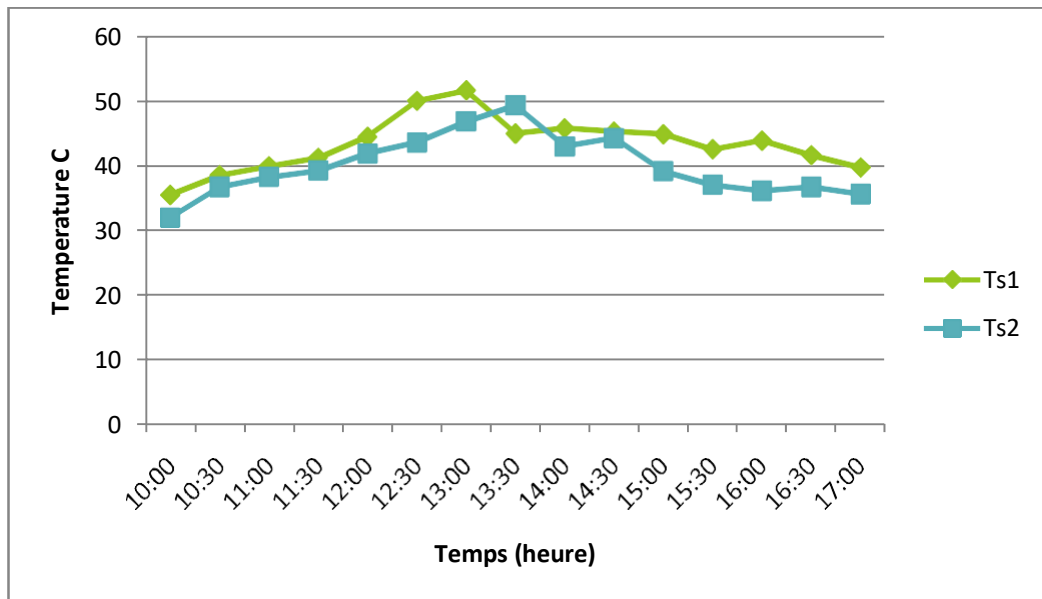


Figure IV.7 : Comparaison de la température à d'eau entre l'expérience n ° 1 et n ° 2.

Nous remarquons que la différence de température est remarquable entre les deux expériences, dans la première expérience lord de l'utilisation de système poursuite solaire, la température augmente considérablement jusqu'à environ 51.6c⁰, maislord de la deuxième expérience, la température maximale était d'environ 49.3c⁰et lorsque nous n'avons pas utilisé le système poursuite solaire, la température reste légèrement basse.

IV.2.1.3.2. L'effet de débit :

Pour étudier l'effet de débit nous allons comparer les résultats obtenus lors des expériences n°2 et n°3:

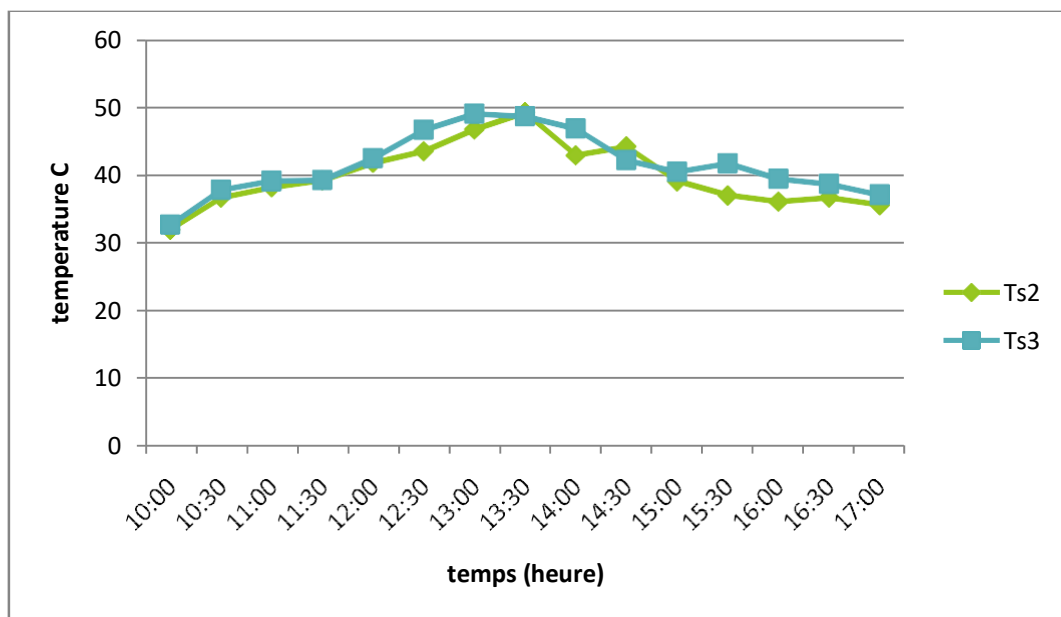


Figure IV.8 : Comparaison de la température à d'eau entre l'expérience n ° 1 et n ° 2.

En remarque une petite différence entre les deux expériences, car nous avons réduit le débit d'eau, ce qui permet plus de temps de contact avec l'absorbant (le temps de séjour), afin d'absorber plus de chaleur.

IV.2.2. Deuxième partie :

IV.2.2.1. Expérience n°4:

Tableau IV.4 : résultats des paramètres mesurés lors de la 4^{em} expérience la date de (16/05/2019)

Heure	T p	T ambiante	T 1 ^{eres} chambres	T 2 ^{em} chambre	T1-T2
09 :30	43,7	34	40	38	2
10 :00	46,7	36,8	45,6	42,9	2,7
10 :30	47,3	35,4	46,8	43,6	3,2
11 :00	47,5	36,8	45,7	42,2	3,5
11 :30	47,8	36,2	46,3	43,1	3,2
12 :00	48,7	36,5	47,3	44,8	2,5
12 :30	50,2	37,5	48,8	47,5	1,3

IV.2.2.2. Evaluation de température de paroi :

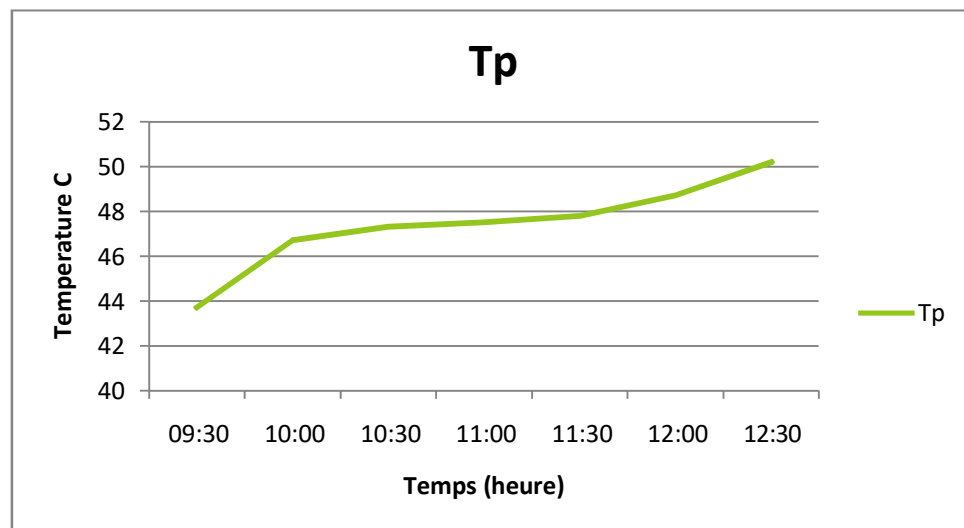


Figure IV.9 : l'évaluation de température de la paroi au cours de l'expérience n°4.

Tp : Température du tube en cuivre dans la chambre de séchage

L'eau venant du concentrateur circule dans le tube fera chauffer progressivement la paroi pour attendre la valeur de $50.2C^0$ à 12:30 PM.

IV.2.2.3. Evaluation de température de des deux chambres de séchage :

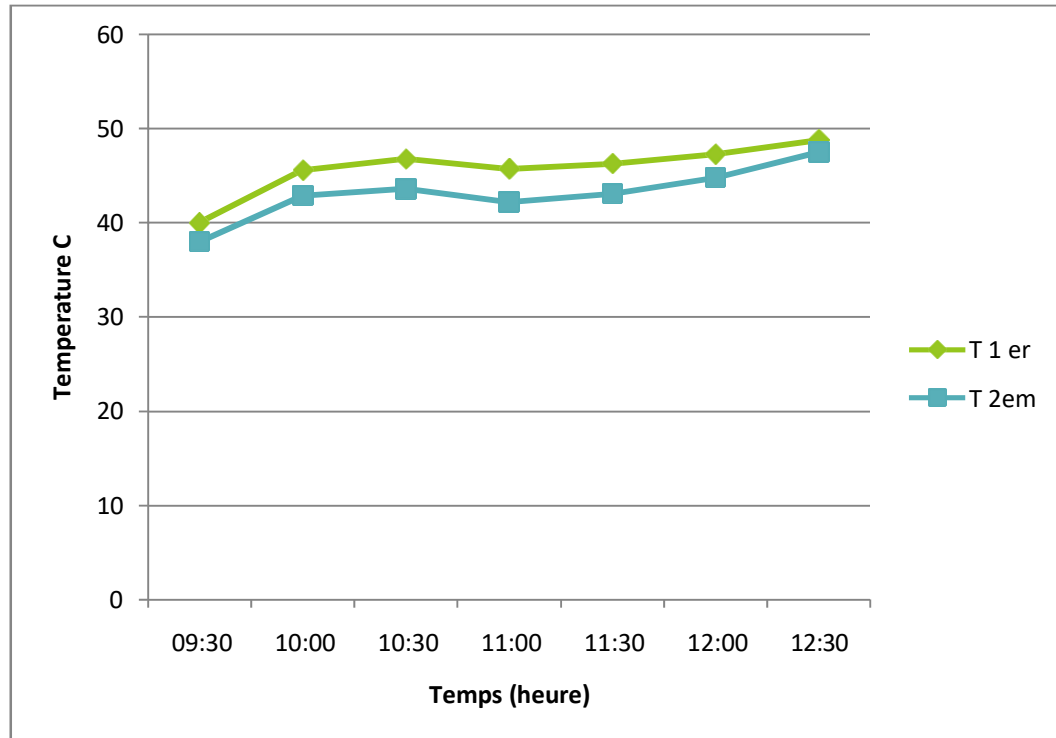


Figure IV.10 : Comparaison de température entre les deux chambres lord de la 4em expérience

T1er : Température de la chambre liée au concentrateur

T2em : Température de l'autre chambre

La différence de température entre les deux chambres est appréciable, car la 1^{ere} est alimenté en eau chaude venant du concentrateur cylindro-parabolique afin de chauffer la chambre de plus en plus, ce qui influant directement sur les performances énergétique de la chambre de séchage n^o1.

IV.3. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté les résultats obtenus à partir des expériences effectuées le 13/14/15/16 Mai 2019 à l'université de Ouargla sur le concentrateur solaire cylindro-parabolique et ses effets sur le séchage, les résultats obtenus sont étudiées pour connaître l'influence des différents paramètres sur les performances de concentrateur solaire.

Conclusion générale

Conclusion générale

Conclusion générale

Ce travail théorique et pratique pour objet d'étudier l'influence des paramètres (le système de poursuite, le changement de débit) sur les performances énergétiques de concentrateur cylindro-parabolique et ses effets sur le séchoir solaire, en particulier l'étude de rendement thermique qui apparaît sur la température de fluide caloporteur à la sortie de concentrateur solaire, ainsi que la température de chambre de séchage et la température du tube en cuivre.

Pour cela ; on effectue des expériences sur un concentrateur de type cylindro-parabolique couplé avec un séchoir solaire direct.

Après les expériences réalisées, On a conclu que :

1. la région d'Ouargla a une performance énergétique solaire très importante.
2. La technologie des concentrateurs solaire cylindro-parabolique est une procédure facile à réaliser et économique.
3. Le système de poursuite solaire améliore les performances énergétiques des concentrateurs cylindro-paraboliques .
4. La température de fluide caloporteur à la sortie de tube absorbeur devient élevée avec un débit réduit.
5. L'intégration de système de concentration solaire à un système de séchage solaire améliore les performances énergétiques de séchage .

On peut développer des simples concentrateurs pour arriver à des conceptions efficaces et modernes, au-dessus des maisons ou des bâtiments afin de chauffer l'eau d'usage quotidien, au par couplé le concentrateur solaire avec un séchoir solaire afin d'améliorer l'opération de séchage.

Bibliographies

- [1] Y.Marif ‘Caractérisation d’un concentrateur cylindro-parabolique de dimensions réelles au sud de l’Algérie: Région d’Ouargla’ Thèse de Doctorat, UniversitéKasdiMerbah, Ouargla, 2015
- [2]M.Ghodbane, B. Boumeddane, S. Largot, N. Heniat‘Simulation Numérique d’un Concentrateur Cylindro-Parabolique en El Oued, Algérie’ International Journal of ScientificResearch& Engineering Technology, ISSN: 2356-5608, pp.68-74,2015.
- [3] T.Fasquelle. ‘ Modélisation Et CaractérisationExpérimentale D’une Boucle Solaire Cylindro-Parabolique Intégrant Un Stockage De Type Thermocline’Thèse de Doctorat, Université de Perpignan, Domitia, 2017.
- [4] H. Houhou. ‘ Etude théorique et expérimentale du séchage solaire de certains produits agro-alimentaires’Mémoire de Magister, Université Mohamed Khider, Biskra,2009.
- [5] N.chalal. ‘ Etude d’un sechoir solaire fonctionnant en mode direct et indirect’Mémoire de Magister, Universitémentouri ,Constantine, 2007.
- [6] A.Khenblouche‘Etude et réalisation d’un nouveau procédé de séchage couplé à un système de chauffe-eau solaire’ Mémoire de master académique, Universitékasdimarbah, Ouargla, 2014.
- [7]J.Françoishoffmann. ‘Stockage thermique pour centrale solaire thermodynamique à concentration mettant en œuvre des matériaux naturels ou recyclés’ Thèse de Doctorat, Université de Perpignan, Domitia, 2015.
- [8] I. Koussaila, H. Idir. ‘Etude et réalisation d’un mécanisme de poursuiveur solaire pour un concentrateur cylindro parabolique avec carte de commande’ Mémoire de master, Université Abderrahmane Mira, Bejaia, 2013.
- [9] A. Teyeb, L. Dehmani, A. Ben Ezzine, C. Kerkeni et L. Kaabi. ‘Etude des performances d’un capteur stockeur cylindro-parabolique’, Institut National Tunisie, revue des énergies renouvelables, pp 135 – 141, 2006.
- [10] F. Medjaoui ,S. Belabbaci. ‘Etude expérimentale et conception d’un concentrateur cylindro-parabolique’ Mémoire de master, Université AboubakrBelkaïd, Tlemcen, 2018.
- [11] S. Bouara. ‘ Etude et simulation des transferts de chaleur dans un recepteur d’un concentrateur solaire cylindro-parabolique’ Mémoire de master, Université m’hamedbougara, boumerdès, 2017.
- [12] T. Ha Nguyen.‘Etude expérimentale et modélisation du procédéde séchage des végétaux’ Thèse de Doctorat, Université de Bretagne Sud, Bretagne, 2015.
-

- [13] M. Azizi, M. Zerrouki. 'Amélioration de fonctionnement énergétique des séchoirs solaires direct et indirect à convection forcée' Mémoire de Master Académique, Universitekasdimerbah, Ouargla, 2018.
- [14] A. Saf, s. Reddam. 'Technologies de séchage. Etude de cas: séchage de deux matrices végétales par étuve' Mémoire de Master, Université Abderrahmane Mira, Bejaia, 2018.
- [15] A. Degla. R. SIOUED. 'Séchage Solaire des Dattes Deglet-Nour: Simulation Numérique' Mémoire de Master Académique, Universitekasdimerbah, Ouargla, 2015.
- [16] A. Boussalia. 'Contribution à l'étude de séchage solaire de produits agricoles locaux' Mémoire de Magister, Universitementouri, Constantine, 2010.
- [17] A. Fiedeleanomou. 'Modélisation phénoménologique d'un séchoir solaire' Mémoire de Master, Université de Zambie, Zambie, 2016.
- [18] م. سوداني. 'تحقيق عملي لمركز شمسي اسطواني مكافئ ذي غطاء زجاجي اطروة الدكتوراه'. جامعة قاصدي مرباح. ورقلة. [18]. 2018
- [19] H. Rahmani, A. Zidi. 'Etude et Réalisation d'un Concentrateur solaire type parabolique' Mémoire de Master Académique, Universitekasdimerbah, Ouargla, 2018.
-

Résumé : Les concentrateurs ont pour but de produire la chaleur transportée par un fluide caloporteur afin d'être utilisée dans un cycle thermodynamique à utilisations industrielles ou domestiques, parmi ces utilisations l'amélioration de l'opération de séchage. Malheureusement ces technologies ne sont pas bien exploitées, ce qui nous a conduit à faire ce mémoire. L'objectif principal à travers ce travail consiste à évaluer l'influence des différents paramètres sur les performances énergétique d'un concentrateur solaire cylindro-parabolique et l'effet de ce dernier sur le séchoir solaire direct, cette expérience consiste à utiliser deux séchoirs solaires directs, l'un des deux est couplé à un concentrateur cylindro-parabolique. Les résultats des expériences (le système de poursuite solaire et la réduction du débit) sont clairs sur le concentrateur solaire qui a une efficacité sur le séchoir solaire direct en améliorant sa performance énergétique.

Mots clés : concentrateur cylindro-parabolique, système de poursuite solaire, fluide caloporteur, performances énergétique, séchoir solaire direct.

دراسة الاداء الطاقوي للمركز الاسطواني المكافئ لاستخدامه في عملية التجفيف

المخلص: الغرض من المركزات هو انتاج الحرارة المنقولة بواسطة السائل الناقل للحرارة لاستخدامها في دورة ترموديناميكية للاستخدامات الصناعية او المنزلية ، ومن بين هذه الاستخدامات تحسين عملية التجفيف . لسوء الحظ لا يتم استغلال هذه التقنيات جيدا ، هذا ما دفعنا الى العمل على هذه المذكرة . الهدف الرئيسي لهذا العمل هو تقييم المعلومات المختلفة على الكفاءة الطاقوية للمركزات لأسطوانية الشمسية وتأثير هذا الخبير على المجفف الشمسي المباشر . تتركز هذه التجربة على استخدام مجففين شمسين مباشرين احدهما مقترن بمركز اسطواني مكافئ. نتائج التجارب (نظام التتبع الشمسي. تقليل التدفق) واضحة على نتائج الرکز الشمسي الذي يزيد من كفاءة المجفف الشمسي المباشر من خلال تحسين كفاءته الطاقوية.

الكلمات المفتاحية: المركزات الاسطوانية المكافئة. السائل الناقل للحرارة. الكفاءة الطاقوية. المجفف الشمسي المباشر.

Study of the performance of a cylindro-prabolic concentrator for use in a drying process

Abstract: The purpose of the concentrators is to produce heat transported by a coolant for use in a thermodynamic cycle for industrial or domestic uses, among these uses the improvement of the drying operation. Unfortunately these technologies are not well exploited, which led us to make this memory. The main objective through this work is to evaluate the influence of the various parameters on the energy performance of a solar cylindro-parabolic concentrator and the effect of the latter on the direct solar dryer, this experiment consists of using two solar dryers direct, and one of them is coupled to a cylindro-prabolic concentrator. The results of the experiments (solar tracking system and flow reduction) are clear on the solar concentrator that has efficiency on the direct solar dryer by improving its energy performance.

Keywords: cylindro-parabolic concentrators, solar tracking system, heat transfer fluid, energy performance, direct solar dryer.
