République démocratique populaire algérienne
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Yahia Fares de Médéa



Faculté de Technologie
Département du Génie Mécanique

Mémoire de fin d'études de Master

Filière :Technologie
Spécialité :Energie Renouvelable

Thème: étude de performance d'un capteur solaire thermique plan

Présenté par:

ZAROUTA AMINE SEKKAI YAZID

Devant le jury :

Mr.	Président	Unv **Médéa**
Mr.Didi Fouzi	Encadreur/rapporteur	Unv **Médéa**
Mr.	Examinateur	Unv **Médéa**
Mr.	Examinateur	Unv **Médéa**

Année universitaire:
2021-2022

Remerciement et dedicace

Nous tenons à vous remercier de tout notre coeur et de solliciter de votre haute bienviellance d'accepter nos sincères remerciments pour votre aide et vos encouragements afin de pouvoir evaluer notre travail tout au long de nos études .

Malgré les difficultés rencontreés nous remercions le dieutout puissant de nous avoir donne le courage et la force de réaliser ce travail qui consiste à la fin de nos étude .

Nous dédions notre mémoire à toutes les personnes qui ont compatie de loin ou de prés par leurs conseils précieux et leurs soutiens morals sans oublier nos chers parents et famille, en reconnaissance et leurs effort fourni tout le long de notre parcours d'étude

Merci à mon promoteur " DIDI FAOUZI " qui nous a adieé pour effectuer cet mémoire

Egalement je tien à remercier de tout couer les professeurs , les employés de notre département du genie mécanique et un grand dédicace à "Mr zerari "

nous souhaitons de tout coeur d'accepter nos sincers remerciments et que dieu vous protège et d'avoir une long vie pleine de joie et bonheur

<3

ZAROUTA AMINE

SEKKAI YAZID

Sommaire

Remerciements……...……i

Dédicace……..…ii

Sommaire……..iv

Liste des figures……...vii

Liste des tableaux……ix

NOMENCLATURE…….……x

Introduction Générale……..1

Chapitre I :[Généralités] 3

I.1. Introduction 3
I.2. L'énergie solaire 3
I.2.1. Caractères particuliers 3
I.2.2. Captation 4
a. L'énergie solaire thermique 4
b. L'énergie solaire thermodynamique 4
I.3. Le rayonnement solaire 5
I.3.1. Le rayonnement solaire direct 6
I.3.2. Le rayonnement solaire diffus 6
I.3.3. Le rayonnement solaire réfléchi 7
I.3.4. Le rayonnement solaire global sur un plan incliné 7
I.4. Applications thermiques de l'énergies solaires 8
I.5. Présentation et fonctionnement des capteurs solaires 9
I.6. Capteur solaire thermique 10
I.6.1. Définition 10
I.6.2. L'effet de serre 11
I.6.3. Réflexion au vitrage 11
I.6.4. Autres valeurs caractéristiques du capteur 12
a. Capacité thermique des capteurs 12
b. Perte de pression dans le capteur 12
c. Température de stagnation 12
d. Surface du capteur 12
I.7. Types des capteurs solaires thermiques 12
I.7.1. Capteurs à concentration 12
a. Capteurs cylindro-parabolique 12

b. Miroirs de Fresnel 13
c. Miroirs paraboliques 14
d. Héliostats 14
I.7.2. Tube sous vide 15
I.7.3. Capteur plan 16
I.8. Les differents modes de transferts thermiques dans un capteur solaire 17
I.8.1. La conduction 17
I.8.2. La convection 17
a. La convection forcée 18
b. La convection naturelle 18
I.8.3. Le rayonnement 18

Chapitre II :[Cpteurs solaires plans] 19
II.1. Définition 19
II.2. Principe de fonctionnement 19
II.3. Composants d'un cpteur plan 20
II.3.1. Couverture transparente 20
a. Le verre 20
b. Les polycarbonates 21
II.3.2. Absorbeurs 21
II.3.3. Isolation 23
a. Isolants minéraux 23
b. Isolants d'origine végétale 24
c. Isolants organiques 24
II.3.4. Le fluide caloporteur 24
II.3.5. Le coffre 25
II.4. Classifications des capteurs 25
II.4.1. Le fluide de travail utilisé 25
a. Des capteurs solaires à air 25
b. Des capteurs solaires à eau 25
II.4.2. L'orientation des capteurs 26
a. Des capteurs fixes 26
b. Des capteurs à poursuite 26
II.4.2. Le type des composants 26
a. La couverture 26
i. les capteurs plans non vitrés 26
ii. les capteurs plans vitrés 27
a. L'absorebeur 28
II.5. Rendement d'un capteur plan 28
II.5.1. Bilan énergétique 28
II.5.2. Influence de la température de l'absorbeur 28
II.5.3. Influence de la température du fluide caloporteur 30

Chapitre III :[Etude des paramètres influents sur les performances d'un capteur solaire plan] 35
III.1. Inroduction 35
III.2. Etude de l'effet de quelques paramètres sur le rendement du capteur solaire en régime permanent 35
III.2.1. Effet du débit massique sur le rendement instantané du capteur 37
III.2.2. Effet de la température d'entrée du fluide caloporteur Tfe 37
III.2.3. Effet de la différence de température entre le fluide et l'air ambiant 38
III.2.4. Effet de la variation de l'éclairement global *G** sur le rendement 40
III.2.5. Effet de la variation des nombres de tubes sur le rendement instantané 41
III.2.6. Effet de la variation de la longueur L sur le rendement instantané 42

Conclusion générale……..……..……44

Références bibliographiques……..45

Résumé/Abstract…..……...47

Table des figures

Figure I.1 : La répartition spectrale du rayonnement solaire.... 5

Figure I.2 : Variation mensuelle de la constante solaire … 6

Figure I.3 : Rayonnement direct, diffus et global... 7

Figure I.4 : Panneau solaire... 9

Figure I.5 : Principe de fonctionnement d'un capteur solaire thermique.... 10

Figure I.6 : Réflexion des faisceaux lumineux sur un vitrage et déperditions de chaleur d'un capteur… 11

Figure I.7 : Schéma de principe d'un concentrateur cylindro-parabolique..... 13

Figure I.8 : Principe de fonctionnement des miroirs de Fresnel 13

Figure I.9 : Schéma de principe d'un concentrateur parabolique..... 14

Figure I.10 : Schéma de principe d'une centrale à tour..... 15

Figure I.11 : Schéma du capteur solaire sous vide..... 16

Figure I.12 : Capteur plan 16

Figure I.13 : Les différents échanges thermiques dans un capteur... 17

Figure II.1 : Composants d'un capteur solaire plan... 20

Figure II.2 : Schéma du capteur étudié…..... 29

Figure II.3 : Les températures des différents éléments intervenant dans la détermination du rendement d'un capteur plan... 29

Figure II.4 : Schéma simplificateur d'un capteur plan étudié……..….31

Figure II.5 : Schéma servant au calcul du bilan thermique 31

Figure III.1 : Capteur plan étudié... 36

Figure III.2 : Variation du rendement instantané avec le débit massique... 37

Figure III.3 : Variation du rendement instantané avec le changement de T_{fe}... 38

Figure III.4 : Variation du rendement instantané avec le changement de $\Delta T_{fld,ext}$ 40

Figure III.5 : Variation du rendement instantané avec le changement de l'éclairement solaire G^*... 41

Figure III.6 : Variation du rendement instantané avec le changement de nombre des tubes... 42

Figure III.7 : Variation du rendement instantané avec le changement de la longueur..... 43

Liste des tableaux

Tableau II.1 : Le coefficient d'absorption et le coefficient d'émission donnés pour les supports les plus utilisés comme absorbeur. 22

Tableau III.1 : Les résultats de $\eta = f(m)$ 37

Tableau III.2 : Les résultats de $\eta = f(T_{fe})$ 37

Tableau III.3 : Les différentes valeurs du K 39

Tableau III.4 : Les résultats de $\eta = f(\Delta T_{fld,ext})$ 39

Tableau III.5 : Les résultats de $\eta = f(G)$ 40

Tableau III.6 : Les résultats de $\eta = f(nt)$ 42

Tableau III.7 : Les résultats de $\eta = f(L)$ 43

NOMENCLATURE

Symboles	Définition	Unité (SI)
I_0	: Constante solaire	$W\ m^{-2}$
q	: flux de chaleur	W
k	: Coefficient de conductivité thermique	$W\ m^{-1}\ K^{-1}$
A	: Surface d'échange	m^2
h	: Coefficient de convection	$W\ m^{-2}\ K^{-1}$
S	: Surface de la paroi solide en contact avec le fluide	m^2
$\dot{Q}^*$	: Le flux absorbée	W
G^*	: Éclairement solaire	$W\ m^{-2}$
e_i	: Epaisseur de l'isolant	m
T_p	: Température de la plaque	K
T_a	: Température ambiante	K
T_f	: Température de fluide	K
F	: Facteur de rendement du capteur	-
Nu	: Nombre de Nusselt	-
Re	: Nombre de Reynolds	-
Gr	: Nombre de Grashof.	-
Pr	: Nombre de Prandtl	-
$\dot{M}$	: Débit massique par unité de surface de capteur	$Kg\ s^{-1}\ m^{-2}$
$\dot{m}$	: Débit massique	$Kg\ s^{-1}$
C_p	: Capacité calorifique du fluide	$J\ kg^{-1}\ K^{-1}$
F_t	: Facteur de transfert thermique	-
$\dot{V}$	: Débit volumique	$m^2\ s^{-1}$

K	: La conductance thermique	$W\ m^{-2}\ K^{-1}$

Symboles grecs

ρ	: Masse volumique	$Kg\ m^{-3}$
ε	: Émissivité thermique	
σ	: Constante de Stefan-Boltzmann	$W.m^{-2}.K^{-4}$
α_p^*	: Coefficient d'absorption solaire	-
τ_c^*	: Coefficient de transmission solaire	-
λ_i	: Conductivité de l'isolant	$W\ m^{-1}\ K^{-1}$
η	: Rendement instantané	-
v^*	: Rendement optique	-

Indices

i, j	: $i^{ème}$ et $j^{ème}$ composantes.
A	: Air ambiant
f	: fluide
p	: plaque absorbante

Abréviations

GES	: Gaz à effet de serre

Introduction générale

Introduction générale

L'énergie a toujours constitué un enjeu vital pour l'homme et les sociétés humaines. Les comportements humains sont fortement induits par sa disponibilité ou sa non-disponibilité, son abondance ou sa pénurie. De ces comportements vont découler de nouveaux enjeux, en particulier pour l'environnement et les équilibres socio-économiques. La prise de conscience de l'importance de ces enjeux (réchauffement climatique, épuisement des ressources, augmentation des coûts de la santé, …) devrait, nous l'espérons, permettre de tendre vers une utilisation plus rationnelle de l'énergie, une optimisation des processus énergétiques que nous mettons en œuvre tous les jours [1].

Actuellement la principale source d'énergie au niveau mondial, provient des combustibles fossiles conventionnels (pétrole, gaz naturel et charbon) qui cumulent deux aspects négatifs importants : ils sont présents sur terre en quantité limitée, et émettent des GES lors de leur combustion. C'est pourquoi il est nécessaire de trouver des alternatives à leur exploitation car, comme nous l'avons vu, les besoins en électricité et en chauffage s'accroissent avec les évolutions technologiques, l'industrialisation et les exigences de qualité et de confort de vie.

L'utilisation des énergies renouvelables n'est pas nouvelle. Celles-ci sont exploitées par l'homme depuis la nuit des temps. Autrefois, moulins à eau, a vent, bois de feu, traction animale, bateaux à voile ont largement contribué au développement de l'humanité. Elles constituaient une activité économique à part entière, notamment en milieu rural ou elles étaient aussi importantes et aussi diversifiées que la production alimentaire.

Les énergies renouvelables sont des sources d'énergie qui utilisent des ressources naturelles considérées comme inépuisables (vent, soleil, marées, chutes d'eau, terre, végétaux, ...). Ces énergies ne produisent pas de gaz à effet de serre, de rejets polluants, et n'engendrent pas ou peu de déchets. Ils n'utilisent pas les ressources fossiles de la planète, comme le gaz naturel ou le pétrole. Leur utilisation est le moyen de conjuguer la production d'énergie et le respect de l'environnement [2].

L'énergie solaire est l'énergie que dégage le soleil sous forme de rayonnement, direct ou diffus. Sur terre l'énergie solaire est l'origine du cycle de l'eau et du vent, le règne végétal dont dépend le régime animal, l'utilisé également en la transformant en énergie chimique par la photosynthèse. Grâce aux diverses exécutions, elle peut être transformée.

L'énergie solaire thermique est la transformation de rayonnement solaire en énergie thermique. Cette énergie thermique peut être soit utilisée directement (système passif) ou indirectement (système actif). Le principe de capter le rayonnement solaire et le stocker dans les systèmes passifs (véranda, serre, façade vitré) ou à redistribuer cette énergie par le biais d'un fluide caloporteur qui peut être de l'eau, un liquide antigel, ou même de l'air s'il s'agit de système actif.

L'exploitation directe de l'énergie solaire au moyen de capteurs relève de deux technologies bien distinctes : l'une produit de l'électricité, c'est l'énergie solaire photovoltaïque et l'autre produit des calories, c'est l'énergie solaire thermique [3].
Il existe plusieurs types de capteur, dans notre cas, nous intéressons aux capteurs plans.

Chapitre I

Généralités

Généralités

I.1. Introduction

Le soleil est à l'origine de la vie sur terre et la perpétue par son apport incessant d'énergie. Cette énergie nous arrive sous forme d'un rayonnement électromagnétique après avoir parcourus des millions de kilomètre. Notre étoile, véritable boule en feu, nous envoie à travers l'espace, une énergie considérable qui nous éclaire, nous réchauffe, fait croître les plantes…[4].

I.2. L'énergie solaire

L'énergie solaire est l'énergie que dégage le soleil sous forme de rayonnement, direct ou diffus.

Sur terre l'énergie solaire est à l'origine du cycle de l'eau et du vent, le règne végétal dont dépend le règne animal, l'utilise également en transformant en énergie chimique par la photosynthèse. Grace aux diverses exécutions, elle peut être transformée en une autre forme d'énergie utile pour l'activité humaine, notamment en chaleur, en électricité ou biomasse. Par extension, l'expression <<énergie solaire >> est souvent employée pour désigner l'électricité ou l'énergie thermique obtenue à partir du rayonnement solaire [3].

I .2.1. Caractères particuliers

L'énergie solaire est la seule source d'énergie externe de la terre, elle présente les propriétés suivantes [5] :

- Elle est universelle, sa densité maximale est de 1 KW/m^2 à midi par ciel bleu sur toute la planète.
- La densité de puissance maximale reçue à un niveau du sol (1kW/m^2) est peu dense on parle alors d'énergie diffuse.
- Elle est abondante, notre planète reçoit plus de 104 fois l'énergie que l'humanité consomme.
- Elle est intermittente et variable à cause de l'alternance du jour et de la nuit, des variations saisonnières et quotidiennes de l'ensoleillement.

- L’énergie reçue par une surface donnée n’est pas récupérable en totalité ceci est dû aux pertes d’énergie sous formes conductrice, convective ou rayonnante.
- Elle est propre.

I.2.2. Captation

Il existe différentes techniques pour capter une partie de cette énergie à savoir :

a. **L’énergie solaire thermique**

Le thermique solaire est un procédé de transformation de l’énergie solaire en une forme thermique, qu’on peut utiliser :

- En usage direct de la chaleur : chauffe-eau solaire, chauffage solaire, cuisinière et séchoir solaire.
- En usage indirect où la chaleur sert pour un autre usage : centrales solaires thermodynamiques, froid solaire.

b. **L’énergie solaire thermodynamique**

La thermodynamique utilise le solaire thermique pour produire de l’électricité Selon le même principe qu’une centrale électrique classique mais en utilisant des centrales hélios thermo électriques [6].

Trois types principaux de centrales sont utilisés :

- Les centrales à capteurs cylindro-paraboliques pour atteindre des températures entre 300 et 350 °C.
- Les centrales à capteur parabolique pour atteindre des températures de 1000°C ou plus.
- Les centrales à tour pour atteindre1000 °C.
- L’énergie solaire photovoltaïque.

Elle permet de produire de l'électricité par transformation d'une partie du rayonnement solaire avec une cellule photovoltaïque.

Les photopiles utilisent l’effet photovoltaïque, elles sont formées d'une couche d'un matériau semi-conducteur et d'une jonction semi-conductrice. Le silicium est le plus employé; cependant, l’arséniure de gallium offre des meilleures performances, mais reste beaucoup plus ornée [5].

I.3. Le rayonnement solaire

Le rayonnement émis par le soleil est constitué d'ondes électromagnétiques dont une partie parvient constamment à la limite supérieure de l'atmosphère terrestre. En raison de la température superficielle du soleil (environ 5800 K), ce rayonnement électromagnétique se situe dans la gamme de longueur d'onde de la lumière visible (entre 0,4 et 0,75 μm) et dans le proche infrarouge (au-delà de 0,75 et jusqu'à 4 μm environ). L'énergie véhiculée par ce rayonnement, moyennée sur une année et sur l'ensemble de la limite supérieure de l'atmosphère, correspond à un éclairement de 340 $W.m^{-2}$. Un bilan énergétique montre que, sur cette quantité d'éclairement qu'apporte le soleil au système terre+atmosphère, environ 100 $W.m^{-2}$ sont réfléchis vers l'espace ; seul le reste est absorbé, pour un tiers par l'atmosphère et pour les deux tiers par la surface de la terre (Figure I.1) [7].

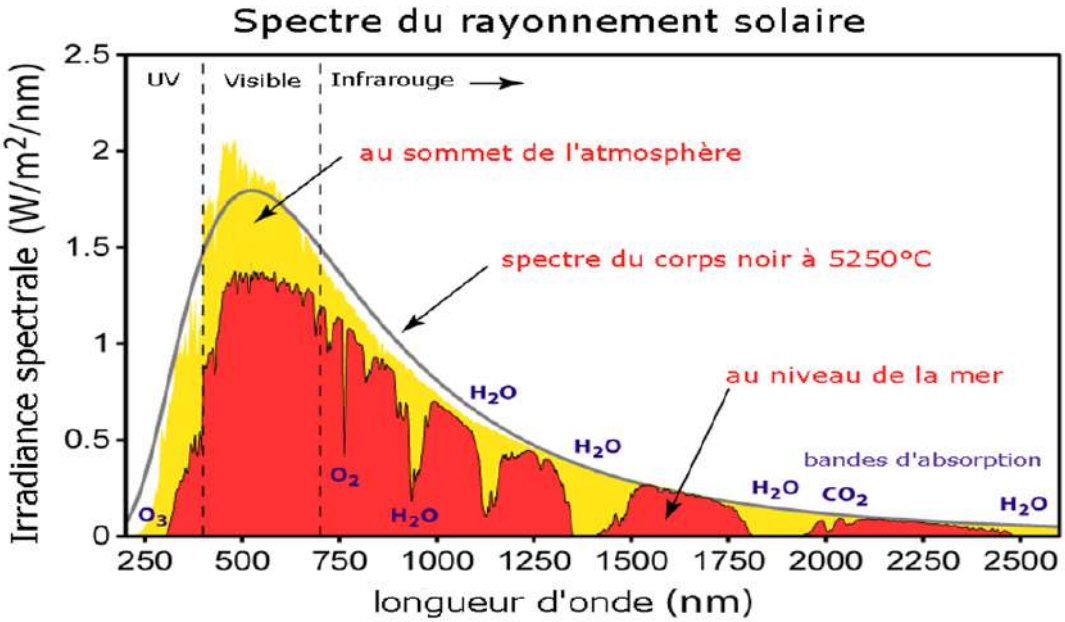


Figure I.1 : La répartition spectrale du rayonnement solaire.

❖ La constante solaire

La constante solaire est le flux énergétique reçu par une surface unité. Dans notre cas la valeur qui a été retenue en 1980 est : $I_0 = 1367\ W/m^2$

I_0 est la variable autour de l'année puisque la distance terre soleil est elle-même variable. (Trajectoire elliptique) (Figure I.2), [1]. La correction terre soleil est donnée par :

$$C_{t\text{-}s} = 1 + 0.034\ \text{Cos}\left(\frac{360}{365}(j - 2)\right) \qquad (I.1)$$

La constante solaire corrigée est : $I = I_0 C_{t-s}$

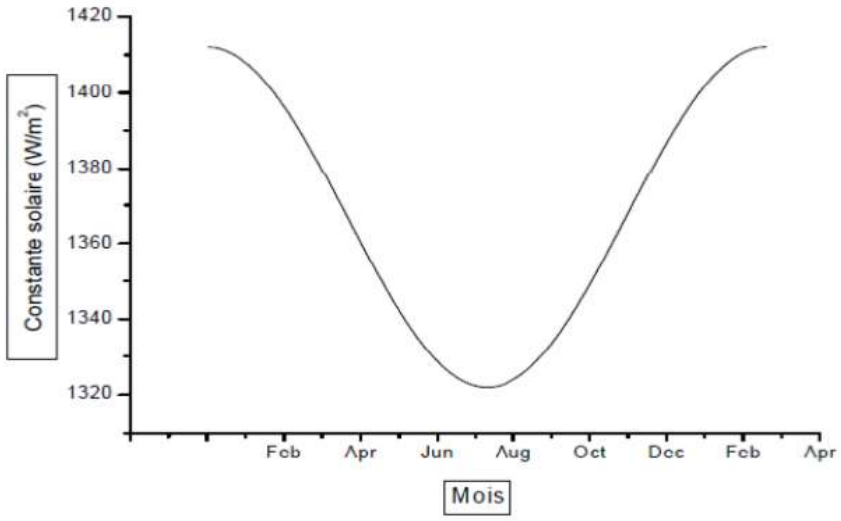


Figure I.2 : Variation mensuelle de la constante solaire.

I.3.1. Le rayonnement solaire direct

Le rayonnement solaire direct ‘’$I_{b\beta}$’’ , qui dépend de la hauteur du soleil et de l’état du ciel, est calculé à partir de la relation :

$$I_{b\beta} = I_{bn} \cos(\theta) \quad \text{(I.2)}$$

Ou ‘’ I_{bn}’’ est l’intensité du rayonnement solaire direct reçu par une surface réceptrice normale aux rayons du soleil. Elle est en fonction de la hauteur h à partir de la relation :

$$I_{b\beta} = \frac{I_{bn}}{\sin(h)} \quad \text{(I.3)}$$

I.3.2. Le rayonnement solaire diffus

Le rayonnement diffus ‘’ $I_{d\beta}$’’ dépend de l’état de clarté du ciel et de la position du soleil dans le ciel. En considérant que l’atmosphère au-dessus du récepteur est isotrope (pas de direction privilégiée du rayonnement diffus), le rayonnement solaire diffus reçu par une surface quelconque est donné par la relation :

$$I_{d\beta} = I_{dh} \frac{1+\cos(\beta)}{2} \quad \text{(I.4)}$$

dans laquelle : I_{dh} est la composante diffuse du rayonnement solaire d'une surface horizontale $(1+\text{Cos}(\beta))$ / 2 est un facteur géométrique qui tient compte de la partie de la voute céleste vue par la surface réceptrice.

I.3.3. Le rayonnement solaire réfléchi

Le rayonnement solaire réfléchi par le sol environnant ''$I_{r\beta}$'' est calculé à partir de l'expression suivante :

$$I_{r\beta} = \rho\, I_{gh}\, \frac{1-\cos(\beta)}{2} \qquad \text{(I.5)}$$

dans laquelle : I_{gh} est le rayonnement solaire global reçu par une surface horizontale, ρ : coefficient de réflexion du sol ou albédo qui varie selon la nature du sol, et dont la valeur moyenne est estimé à $\rho = 0{,}25$ (Figure I.3).

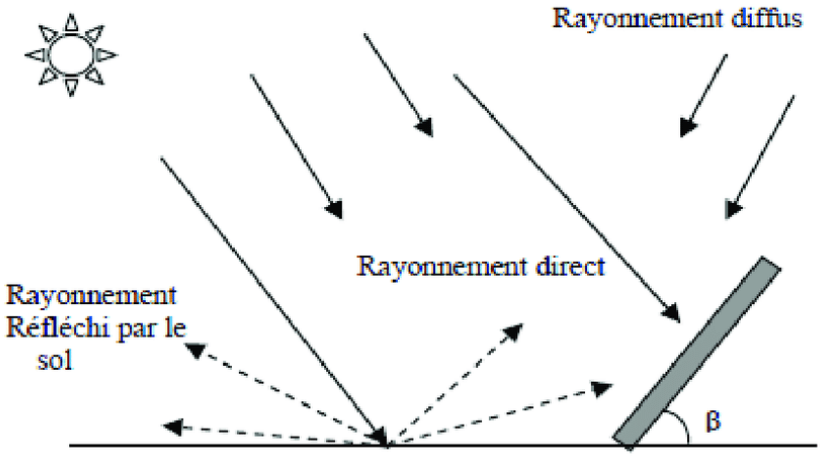


Figure I.3 : Rayonnement direct, diffus et global.

I.3.4. Le rayonnement solaire global sur un plan incliné

La somme des trois composantes '' $I_{b\beta}$'' , ''$I_{d\beta}$'' et ''$I_{r\beta}$'' permet d'obtenir, à chaque instant, l'éclairement global d'une surface d'inclinaison et d'orientation quelconques

$$I_{g\beta} = I_{bh}\frac{\cos(\theta)}{\sin(h)} + I_{dh}\frac{1+\cos(\beta)}{2} + \rho\, I_{gh}\frac{1-\cos(\beta)}{2} \qquad \text{(I.6)}$$

La composante diffuse '' I_{dh}'' est estimée dans le modèle avec une bonne approximation à partir de la relation :

$$I_{dh} = 125\ [\sin(h)]^{0.4} \quad \text{(I.7)}$$

La composante directe ''I_{bh}'' est déduite par différence entre la composante diffuse :

$$I_{bh} = I_{gh} - I_{dh} \quad \text{(I.8)}$$

I.4. Applications thermiques de l'énergie solaire

Bien que l'exploitation de l'énergie solaire s'intensifie depuis quelques années et que les technologies évoluent sans cesse, les principes et les phénomènes mis en cause sont très bien connus et font aujourd'hui l'objet de large consensus. Le rayonnement solaire a été le sujet de nombreuses études, recherches et discussions, on peut trouver des applications à basse température (chauffage de l'eau, climatisation des habitations, dessalement de l'eau, réfrigération solaire, etc.) et des applications à température relativement plus élevée (cuiseurs et fours solaires) nécessitant par conséquent une concentration du rayonnement. Sans être exhaustif on peut citer :

- **Eau chaude solaire**

La production d'eau chaude sanitaire est actuellement l'application la plus répandue de l'énergie solaire thermique. L'installation classique comprend essentiellement un groupe de capteurs plans, une capacité de stockage et généralement un dispositif de régulation et une source d'appoint. La température de l'eau chaude sanitaire est en effet relativement réduite et les capteurs solaires plans conviennent bien à ce type de production d'eau chaude.

- **Chauffage solaire des habitations**

Le chauffage solaire du bâtiment fait un appel à des capteurs à air ou à eau, mais avec des surfaces par logement plus grandes. La chaleur peut être distribuée par des radiateurs à eau chaude ou des planchers ou plafonds chauffants. L'utilisation de la chaleur solaire pour le chauffage du bâtiment demande le recours à une forme de stockage. Il est possible de stocker de l'énergie sous forme d'eau chaude dans des réservoirs de plusieurs mètres cubes, ce système permet de s'affranchir en partie du caractère intermittent de l'énergie solaire [8]

I.5. Présentation et fonctionnement des capteurs solaires

Le capteur solaire appelé aussi panneau solaire est un appareil prévu pour absorber des rayons du soleil pour les transformer en énergie solaire. Pour faciliter sa pose et la capture du flux solaire, le capteur solaire se présente le plus souvent sous la forme d'un panneau plat, d'une surface moyenne de 1 m² (Figure I.4).

On distingue deux types de capteurs solaires :

- **Le capteur solaire thermique** qui absorbe le rayonnement solaire puis le convertit en énergie thermique transmise grâce à un fluide caloporteur. Ce fluide peut être de l'air qui circule et s'échauffe au contact de tubes absorbeurs ou de l'eau qui passe et se chauffe dans des tubes.
- **Le capteur solaire photovoltaïque** qui absorbe l'énergie solaire afin de la transformer en énergie électrique [9].



Figure I.4 : panneau solaire.

I.6. Capteur solaire thermique

I.6.1 Définition

Le capteur est la source de chaleur de l'installation solaire. C'est la que le rayonnement du soleil chauffe le fluide caloporteur. La chaleur produite est transférée par le circuit capteur et, la plupart du temps, stockée dans un ballon de stockage intermédiaire. De là, elle est distribuée aux consommateurs connectés au système.

Certains matériaux laissent passer une gamme étendue de longueurs d'onde alors que le verre est transparent seulement au visible et au proche infrarouge.
Entourant un corps noir d'une cage de verre, la lumière traversant le verre échauffe le corps noir et la porte à une température de 30° à 100°C environ.
Ce corps noir faiblement chauffé va donc émettre dans l'infrarouge pour lequel le verre est opaque, l'infrarouge piégé dans la cage va retourner au corps noir Contribuant ainsi un échauffement ; c'est l'effet de serre.

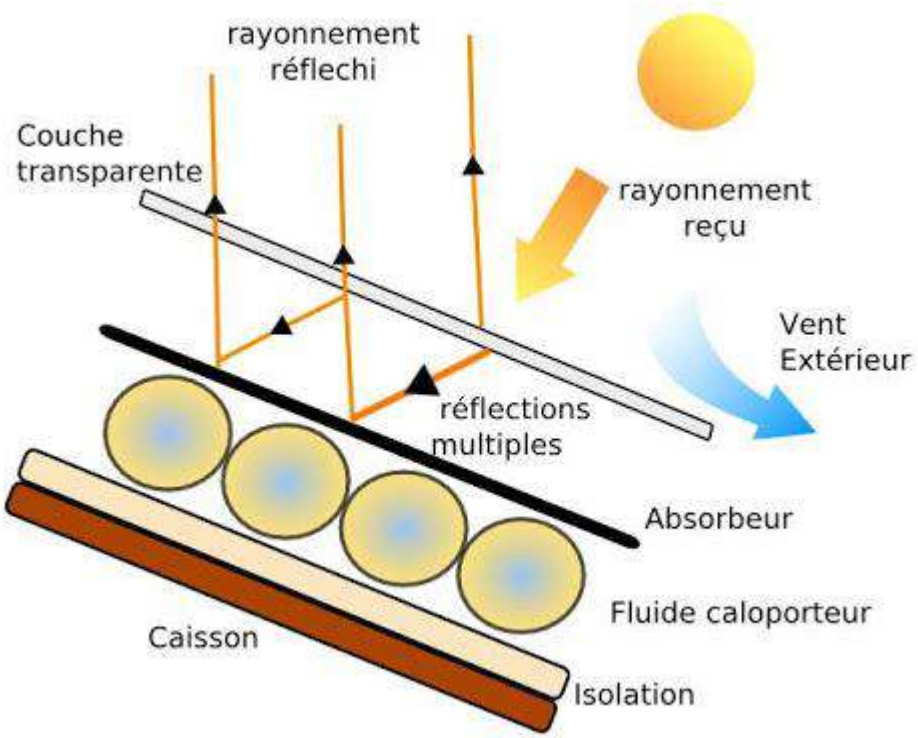


Figure I.5 : Principe de fonctionnement d'un capteur solaire thermique.

I.6.2. L'effet de serre

Le soleil émet en permanence un rayonnement (mélange de lumière visible, d'infrarouges et d'ultraviolets) qui se propage dans l'espace. Une partie de ce rayonnement solaire qui traverse l'atmosphère terrestre est absorbée par la surface de la terre. Celle-ci émet en retour un rayonnement infrarouge (de la chaleur) en direction de l'espace. Cependant, une partie de ce rayonnement infrarouge est renvoyée en direction de la surface terrestre par certains gaz de l'atmosphère appelés « gaz à effet de serre ».

I.6.3 Réflexion au vitrage

La transmission optique maximum (le coefficient de transmission τ) du vitrage d'un capteur dépend des propriétés du verre. Elle dépend de l'absorption du rayonnement dans le verre, et de la réflexion surface. Lorsqu'un faisceau de lumière solaire frappe la surface du verre à angle droit, la fraction d'énergie reflétée par le verre est négligeable (Figure I.6).

Plus l''angle d'incidence avec le vitrage est petit, plus la réflexion est grande. Avec une incidence parallèle au verre, la transmission tend vers zéro, et le verre se comporte comme un miroir.

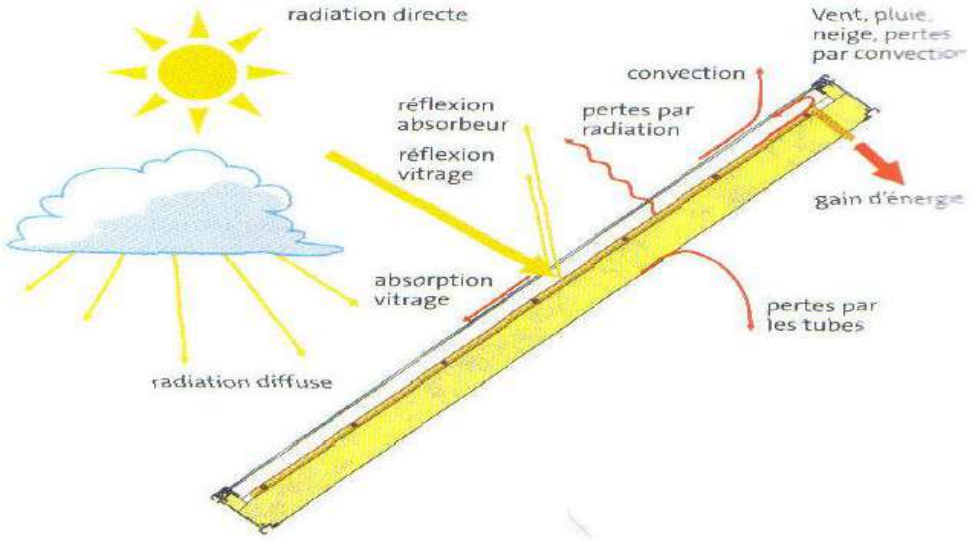


Figure I.6 : Réflexion des faisceaux lumineux sur un vitrage et déperditions de chaleur d'un capteur.

I.6.4. Autres valeurs caractéristiques du capteur

a. **Capacité thermique des capteurs**

La capacité thermique du capteur est déterminée par des essaie selon la norme EN 12975-4.

La capacité thermique est une mesure de l'inertie thermique et donc de la réponse du capteur au chauffage et au refroidissement.

Une faible capacité thermique est un avantage pour l'utilisation des capteurs dans des conditions atmosphériques changeantes, typiques de l'Europe centrale.

b. **Perte de pression dans le capteur**

La perte de pression dans le capteur en fonction des différents débits est déterminée dans le cadre des essaies selon EN 12975. Cet essai généralement effectué avec de l'eau, ce qui signifie qu'on doit ajuster les calculs pour le mélange eau/glycol habituellement utilisé.

c. **Température de stagnation**

Si le capteur est exposé à un ensoleillement régulier de 1000 W/m², avec une température ambiante de 30 ˚C, sans soutirage, un équilibre entre apport d'énergie et déperditions thermiques va s'établir. La température maximale qui en résulte est décrite comme température de stagnation.

d. **Surface du capteur**

Pour calculer la production d'énergie d'un capteur, il est important de préciser la définition de la surface de capteur.

I.7. Types des capteurs solaires thermiques

I.7.1. Capteurs à concentration

Ces capteurs utilisent des surfaces réfléchissantes (miroir) parabolique ou cylindro-parabolique pour concentrer les rayons solaires respectivement dans le foyer ponctuel ou dans le foyer linéaire de ces surfaces. Dans le foyer ponctuel ou le long foyer linéaire se trouvent les récepteurs (absorbeurs) qui captent la chaleur solaire concentré ; cette concentration entraine une augmentation de l'intensité, et les températures obtenues sur le récepteur peuvent atteindre plusieurs centaines voire même plusieurs milliers de degrés Celsius.

a. **Capteur cylindro-parabolique**

Le capteur cylindro-parabolique s'oriente vers le soleil grâce à un dispositif de vérin électrique automatique et concentre le rayonnement solaire au niveau de l'absorbeur. Le fluide caloporteur circule dans le circuit de chauffage et conduit la chaleur vers la cuve de stockage à

l'aide d'une pompe à faible débit. L'eau, étant chauffée, produit de la vapeur qui entraînera une turbine actionnant une génératrice qui a son tour produit de l'électricité. La vapeur va ensuite être condensée afin de retourner à la cuve et refaire le cycle d'utilisation (Figure I.7).

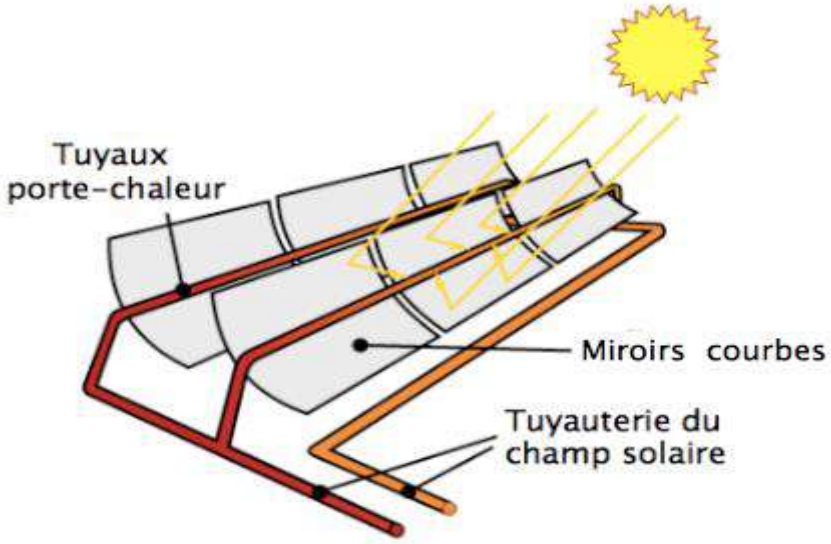


Figure I.7 : Schéma de principe d'un concentrateur cylindro-parabolique.

b. **Miroirs de Fresnel**

Un facteur de cout important dans la technologie des collectyeurs cylindro-parabbolique et la mise à forme du verre pour la forme parabolique reuquise.

Afin de deminuer le cout ; plusieurs groupes de recherche travaillent sur les prototypes de collecteurs de frensel a focalisation linéaire. L'idée est d'approximer la forme parabolique du collecteur par une succession de miroirs plans, comme indiqué sur la (Figure I.8).

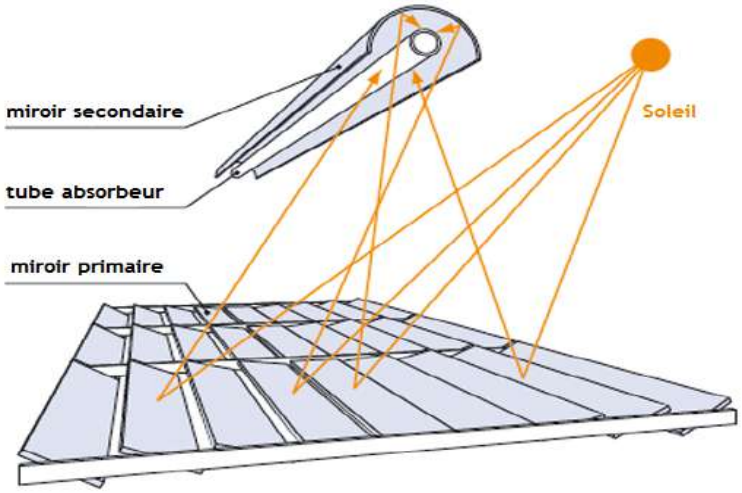


Figure I.8 : Principe de fonctionnement des miroirs de Fresnel.

c. **Miroirs paraboliques**

Le principe de fonctionnement de ce type de capteur est représenté sur la Figure I.9. Le miroir parabolique réfléchit les rayons du soleil vers un point de convergence, le rayonnement solaire est alors concentré sur le récepteur qui monte en température.

Le récepteur en question est un moteur Stirling qui fonctionne grâce à la montée en température et en pression d'un gaz contenu dans une enceinte fermée. Ce moteur convertit l'énergie solaire thermique en énergie mécanique et ensuite en électricité. Tout au long de la journée, le socle de la parabole s'oriente automatiquement face au soleil pour suivre sa course et ainsi profiter d'un ensoleillement maximum.

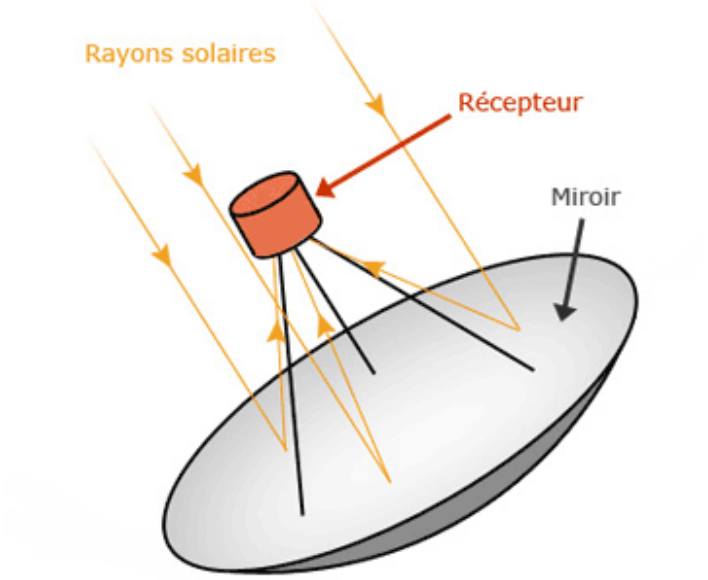


Figure I.9 : Schéma de principe d'un concentrateur parabolique.

d. **Héliostats**

Un héliostat est un dispositif permettant de suivre la course du Soleil, généralement pour orienter toute la journée les rayons solaires vers un point ou une petite surface fixe, à l'aide de miroirs.

L'héliostat est également utilisé dans les centrales solaires où un champ d'héliostats est utilisé pour faire converger les rayons lumineux vers un même point qui est l'absorbeur situé au sommet d'une tour. Ainsi le rayonnement solaire est directement concentré sur l'absorbeur qui transforme le rayonnement en chaleur à haute température et qui peut atteindre 1000°C (Figure I.10).

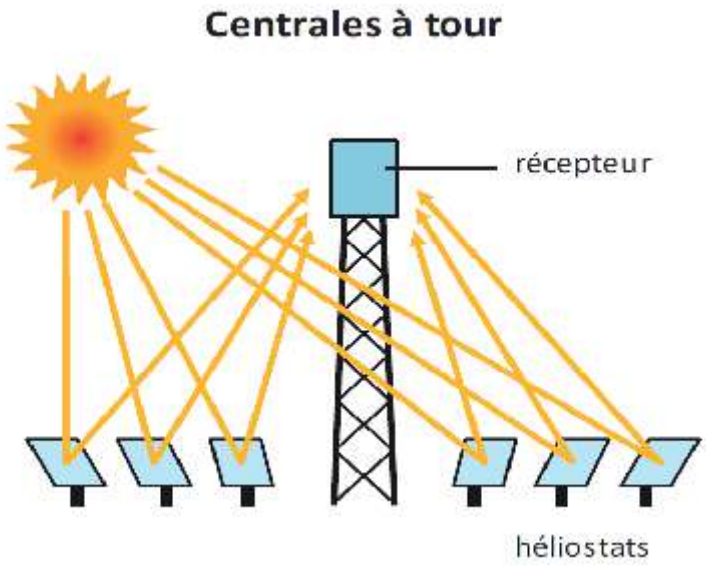


Figure I.10 : Schéma de principe d'une centrale à tour.

Généralement, un fluide caloporteur (des sels fondus) circule au sommet de la tour. Chauffé par les rayons, celui-ci transfère son énergie à un circuit d'eau. La vapeur alors produite actionne une turbine qui produit de l'électricité [7].

I.7.2. Tube sous vide

Un tube sous vide est un type de tube utilisé dans les capteurs solaires thermiques. Souvent présentée comme avant-gardiste, cette technologie, développée initialement par l'université de Sydney en Australie à partir de 1975, fût industrialisée initialement au Japon puis son développement s'en trouva fortement amplifié par une externalisation de la production vers la Chine.

Un capteur solaire "sous vide" est composé d'une série de tubes transparents en verre de 5 à 15 cm de diamètre. Dans chaque tube, il y a un absorbeur pour capter le rayonnement solaire et un échangeur pour permettre le transfert de l'énergie thermique. Les tubes sont mis sous vide pour éviter les déperditions thermiques convectives de l'absorbeur et l'absorbeur reçoit un traitement sélectif pour piéger le rayonnement. Ainsi, on peut réaliser des capteurs solaires performants sans une isolation thermique rapportée ou un coffre de protection.

Pour être efficace, le vide doit être poussé < 10-3 Pa. Un tube devient inutile s'il n'est pas totalement hermétique et il faut le changer pour préserver la performance de l'ensemble du capteur. Afin de visualiser cette éventualité, les tubes sont munis d'un témoin (getter) en baryum, qui dépose une couche métallisée sur l'intérieur du tube pendant la fabrication. Cette

couche argentée de baryum devient blanche en contact avec l'air et ainsi sert de témoin à la, perte de vide **(**Figure I.11) [9].

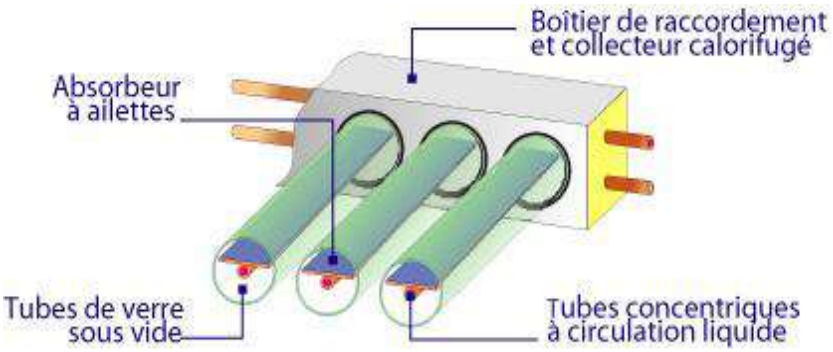


Figure I.11 : Schéma du capteur solaire sous vide.

I.7.3. Capteur plan

Les capteurs solaires plans sont les éléments fondamentaux de la transformation de l'énergie solaire en énergie thermique à basse température. Sans concentration du rayonnement solaire, le flux d'énergie tombant sur une surface située au niveau de la mer ne peut guère dépasse 1kW/m^2.cette valeur ne permet pas d'atteindre des températures supérieures à 100°C. Par contre il ne nécessite pas un suivi du soleil et utilisent les composantes direct et diffus du rayonnement incident. Ils sont principalement utilisés pour la production d'eau chaude sanitaire (ESC) et le chauffage d'habitations ou de piscines (Figure I.12) [10].



Figure I.12 : capteur plan.

I.8. Les différents modes de transferts thermiques dans un capteur solaire

Un capteur solaire met en jeu simultanément les trois modes de transfert thermique, conduction, convection et rayonnement (Figure I.13).

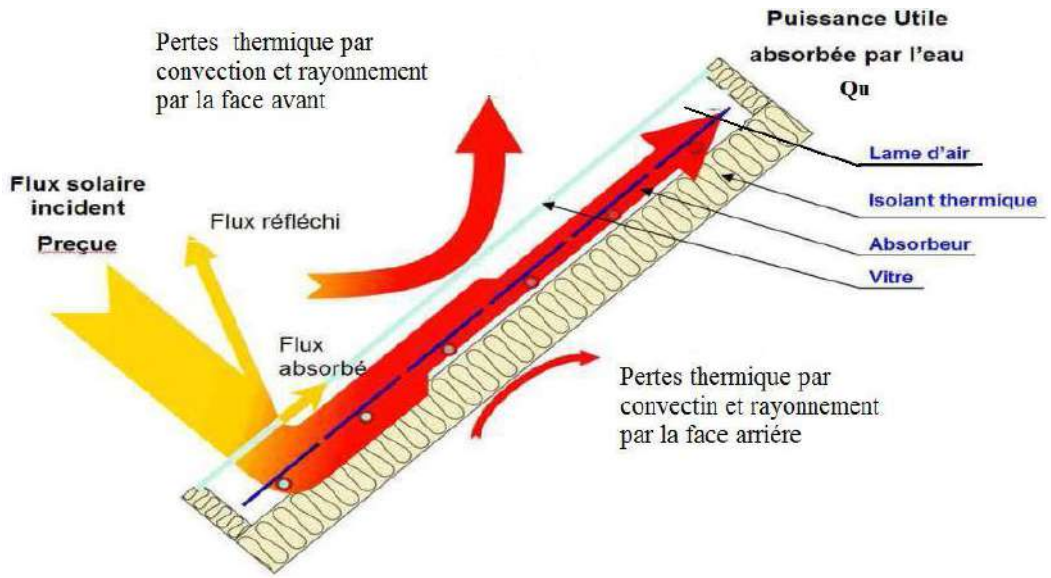


Figure I.13 : Les différents échanges thermiques dans un capteur.

I.8.1. La conduction

La conduction est le mode de transfert de chaleur caractérisé par la propagation de l'énergie thermique dans un milieu matériel sans déplacement de la matière.

La loi correspondant à ce processus de diffusion thermique est la loi de Fourier donnée par la relation :

$$q = -k \times A \times grad\ T \qquad \text{(I.9)}$$

q : flux de chaleur.

k : coefficient de conductivité thermique.

A : surface d'échange.

I.8.2. La convection

La convection est un transport d'énergie dû à des mouvements macroscopiques.

On distingue deux types de convection :

a. **La convection forcée**

Le mouvement du milieu est engendré par un dispositif externe (le vent, une pompe, un ventilateur…etc.).

b. **La convection naturelle**

Le mouvement du fluide est engendré par les variations de densité causées par des variations de température au sein du fluide, tel est le cas de la thermocirculation.

Le transfert thermique convectif est régi par la loi de Newton :

$$q = h \times S \times (T_p - T_f) \quad \text{(I.10)}$$

q : le flux échangé par convection.

h : coefficient de convection.

S: surface de la paroi solide en contact avec le fluide.

T_p : température de la paroi solide.

T_f: température du fluide.

I.8.3. Le rayonnement

Le transfert de chaleur par rayonnement à lieu lorsque de l'énergie sous forme d'ondes électromagnétiques est émise par une surface et absorbée par une autre. Cet échange peut avoir lieu lorsque les corps sont séparés par le vide ou par n'importe quel milieu intermédiaire suffisamment transparent pour les ondes électromagnétiques [11].

La loi fondamentale du rayonnement est celle de Stefan-Boltzmann :

$$q = \varepsilon \times \sigma \times T^4 \quad \text{(I.11)}$$

q : densité de flux de chaleur émis par le corps.

ε : Émissivité thermique du matériau.

σ: Constante de Stefan-Boltzmann évaluée à $5{,}6.10^{8}$ W/m^2.K^4.

T : température absolue du corps.

Chapitre II
Capteurs solaires plans

Capteurs solaires plans

II.1. Définition

Le capteur solaire plan est un dispositif conçu pour recueillir l'énergie transportée par les radiations solaires, la convertir en énergie calorifique et la transmettre à un fluide caloporteur, il combine deux principes physiques :

Les effets de serre et du corps noir.

La chaleur produite par les capteurs peut ensuite être utilisée pour :

- 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 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 [6].

Le niveau relativement bas de la température du capteur plan est dû à la réémission par rayonnement du récepteur, et les pertes de chaleur périphérie du capteur.

II.2. Principe de fonctionnement

Les capteurs solaires plans sont les capteurs les plus courants sur le marché de l'énergie solaire thermique. Dans un capteur plan, le rayonnement traverse le vitrage du capteur et pénètre l'absorbeur. C'est sur la surface de l'absorbeur que le rayonnement solaire est converti en chaleur.

Un liquide caloporteur, qui circule en contact avec l'absorbeur, conduit la chaleur captée vers le consommateur. Le vitrage solaire créé un effet de serre, qui augmente le rendement du capteur, quand la température extérieure est inférieure à la température du capteur. Il a la propriété de mieux laissé passer le rayonnement solaire que le rayonnement infrarouge, émis par l'absorbeur. La chaleur est ainsi piégée dans le capteur. La couverture évite aussi le refroidissement de l'absorbeur par le vent. L'isolation dessous et autour de l'absorbeur diminue les pertes de chaleur. Un autre élément, qui augmente considérablement l'efficacité du capteur, est la couche sélective de l'absorbeur. Elle augmente jusqu'à 85% la

captation de l'énergie solaire comparée à une couche noire non sélective. La couche sélective à base de chrome noir absorbe l'énergie solaire de façon optimale tout en limitant considérablement les pertes par rayonnement. Le liquide caloporteur chauffé dans l'absorbeur conduit la chaleur captée vers un échangeur de chaleur, où sa chaleur est transmise au consommateur.

II.3. Composants d'un capteur plan

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.1).

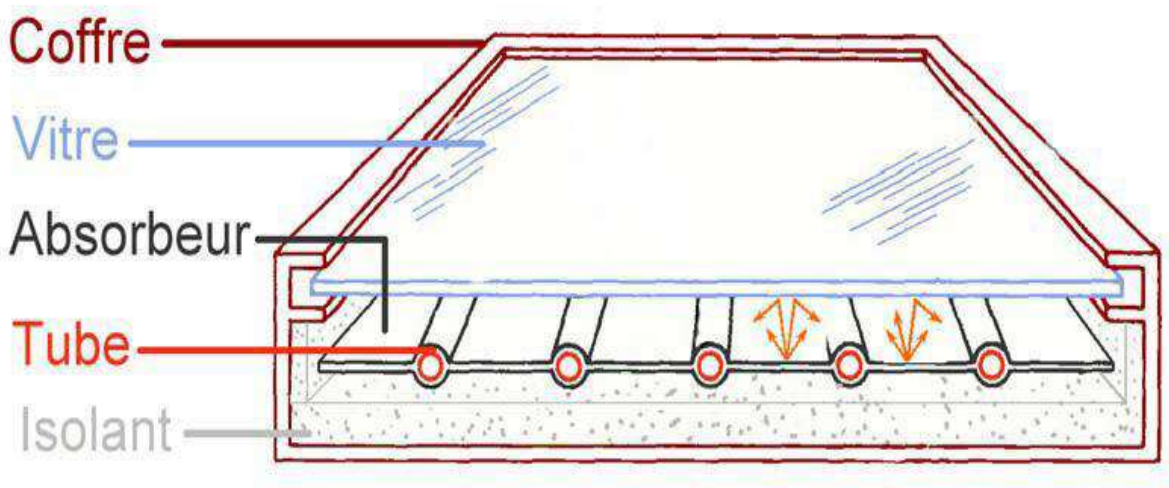


Figure II.1 : Composants d'un capteur solaire plan.

II.3.1. Couverture transparente

Bien que pour certains capteurs destinés à fonctionner à basse température (par exemple le chauffage des piscines) on puisse faire l'économie d'une couverture, la plupart du temps c'est un bon investissement de recouvrir l'absorbeur d'une ou deux plaques transparentes qui retiennent les radiations infrarouges émises par celui-ci tout en laissant passer le maximum de rayonnement solaire. Actuellement on utilise les matériaux rigides suivants :

a. **Le verre**

Ce type de couverture laisse passer entre 84 et 92% du rayonnement solaire sous une incidence normale, pour une lame de verre de 3mm d'épaisseur. La transmission du verre au rayonnement solaire dépend de la contenance de ce matériau en oxyde de fer (Fe_2O_3), qui

absorbe éventuellement les rayonnements de grandes longueurs d'onde de la lumière solaire, et colore en vert la tranche des vitres.

Les expériences montrent que c'est pour des faibles quantités en Fe_2O_3 qu'on espère obtenir de bonnes valeurs de transmission de l'ordre de 2%. Les couvertures en verre présentent quelques inconvénients :

- Fragiles aux chocs mécaniques et thermiques.
- Une forte inertie thermique en comparaison avec le polycarbonate, en raison de leur masse volumique.

b. **Les polycarbonates**

Sont des dérivés de matières plastiques à double et à triple lames très fines, reliées entre elles par une multitude de parois pour former des cavités alvéolaires, ces dernières réduisent le mouvement de l'air incarcéré dans cet espace, et permettent de minimiser les pertes thermiques vers l'avant. C'est le cas de matériaux comme le méthacrylate et le tedlar.

L'inconvénient principal des matériaux plastiques est la dégradation de certaines de leurs propriétés, avec le temps pour certains, ou le prix élevé pour d'autres. Les pertes par transmission peuvent également être éliminées en plaçant l'absorbeur sous vide, ce qui permet d'obtenir un rendement élevé même à hautes températures. Ce type de capteur est d'ailleurs surtout utilisé pour certaines applications demandant des températures plus élevées du fluide caloporteur (jusqu'à 150°C). Outre les plaques rigides que l'on vient de mentionner, des films minces ont été également employés comme couvertures de capteurs :

- Le polytéréphtalate d'éthyle (ou terphane, ou mylar)
- Le fluorure de polyvinyle
- Le polyester renforcé de fibres de verre
- Le polyéthylène de basse densité

II.3.2. Absorbeurs

Ils transforment le rayonnement reçu en chaleur et échange celle-ci avec le fluide caloporteur. L'absorbeur est l'élément principal dans le fonctionnement d'un capteur plan. Trois fonctions lui régissent :

- Absorber le rayonnement solaire,
- Le transformer en chaleur,
- Transmettre cette chaleur au fluide caloporteur.

La surface captatrice idéale du rayonnement solaire devrait absorber toute l'énergie correspondant au spectre solaire, c'est à dire pour $<3\mu m$, et émettre faiblement dans

l'infrarouge lointain (>3μm) correspondant au spectre du rayonnement réémis par l'absorbeur dont la température se situe entre 50 et 100°C pour les capteurs plans par exemple.

De nombreuses recherches sont en cours de développement et concernent de telles surfaces. Elles sont fondées sur le traitement de surface des métaux, généralement par dépôt de multicouches judicieusement choisies. Nous présentons, à titre indicatif le Tableau II.1 suivant, sur lequel sont portées les valeurs du coefficient d'absorption α et le coefficient d'émission ε.

Support de traitement	A	E
Acier et Nickel noir sur Nickel	0.95	0.07
Acier et chrome noir sur nickel	0.97	0.09
Acier et chrome noir	0.91	0.07
Cuivre et chrome noir	0.95	0.14
Acier galvanisé et chrome noir	0.95	0.16
Cuivre et cuivre noir	0.88	0.15
Acier et oxyde de fer	0.85	0.08
Aluminium et oxyde de manganèse	0.7	0.08
Acier et couche organique sur chrome noir	0.94	0.2
Peinture noir époxy	0.95	0.18
Peinture blanche époxy	0.25	0.91

Tableau II.1: Le coefficient d'absorption et le coefficient d'émission donnés pour les supports les plus utilisés comme absorbeur.

Pour absorber au maximum l'énergie rayonnée du soleil, il suffit d'une surface plane placée de façon judicieuse (étude de l'inclinaison et de l'orientation) ; cette surface doit être dotée du coefficient d'absorption de la couche superficielle la plus élevée possible.

Les meilleurs coefficients sont de l'ordre de 0,95. Seules les couleurs foncées permettent d'obtenir des valeurs aussi élevées, l'idéal étant le noir évidemment. Par ailleurs, il vaut mieux que cet aspect noir a été obtenu par un traitement (chimique ou autre) plutôt que par une couche de peinture (celle-ci étant toujours plus ou moins isolante).

Pour limiter les pertes par réémission de rayonnement infrarouge, il est important que l'absorbeur possède aussi la propriété d'émissivité superficielle la plus faible possible (valeur inférieure à 0,15). Dans ce cas, l'absorbeur sera qualifié de sélectif.

Après transformation du rayonnement en chaleur sur la face superficielle exposée, il y a lieu de transmettre cette chaleur le plus possible au fluide. Pour ce faire, il importe que la plaque soit métallique car seuls les métaux ont de bons coefficients de conduction de la chaleur.

- **Le Cuivre**

Le meilleur mais aussi le plus coûteux avec un coefficient de conduction de l'ordre de 300.

- **L'acier**

Déjà très employé par les chauffagistes. En fait de nombreux capteurs utilisent comme absorbeur des radiateurs extra plats de chauffage central.

- **L'aluminium**

Dont la conductibilité et la légèreté sont appréciables mais qui, de ces trois métaux, semble le plus vulnérable à la corrosion.

Plus le coefficient de conduction est faible et plus la plaque doit être épaisse, ce qui augmente le prix, le poids et l'inertie de l'absorbeur. Un tel dispositif représente donc un véritable piège au rayonnement solaire, qui peut être amélioré en munissant le capteur d'une double couverture.

II.3.3. Isolation

L'isolation joue un rôle très important dans les applications thermiques de l'énergie solaire, pour limiter les pertes par conduction et convection vers le milieu environnant, au niveau des côtés et en bas du capteur. L'isolant doit être opaque aux rayonnements de grandes longueurs d'onde, dans le domaine de l'infrarouge émis par la plaque rayonnante (absorbeur). Un bon isolant doit avoir les qualités suivantes :

- Une faible conductivité thermique
- Une faible densité (pour une faible inertie thermique)
- La chaleur massique doit être basse

On distingue trois types d'isolants :

a. **Isolants minéraux**

- La pierre ponce, est une roche volcanique qui s'est solidifiée en enfermant de nombreuses bulles d'air.

- La laine de verre constituée de fibres de verre très fines, commercialisée sous de nombreuses formes : en plaques, en rouleaux et enrobée dans du plâtre. Sa conductivité varie entre 0,034 W m^{-1} K^{-1} à 0°C et 0,053 W m^{-1} K^{-1} à 200°C. La laine de verre est un matériau

efficace, mais désagréable à manipuler en raison des fibres qui s'échappent. Elle doit être gardée au sec, sous peine de perdre ses propriétés isolantes.

- La vermiculite connue aussi sous le nom de mica, dont la conductibilité varie de 0,12 à 0,16 W m^{-1} K^{-1} et qui se présente sous forme de granulés très légers.

Ces trois isolants minéraux sont de nature incombustible et non dégradable par la chaleur.

b. **Isolants d'origine végétale**

- Le bois bien sec, sa conductibilité varie entre 0,13 et 0,40 W m^{-1} K^{-1}, ses qualités isolantes peuvent être améliorées, s'il est sous forme de fibres agglomérées (conductivité de 0 à 0,05 W m^{-1} K^{-1}).
- La sciure de bois (conductivité 0,11 W m^{-1} K^{-1}), qui a deux inconvénients : Son inflammabilité et sa conductibilité qui ont tendance à augmenter avec la chaleur, ce qui la rend inadéquate pour la calorifugation.

c. **Isolants organiques**

Ils ont la propriété d'être insensibles à l'humidité, cependant ils dégagent des gaz toxiques en cas d'incendie.

L'absorbeur doit transmettre l'énergie qu'il capte au fluide caloporteur en évitant les pertes (conduction, convection, rayonnement) des différentes parties périphériques vers l'extérieur, les solutions adoptées sont les suivantes :

- **Partie avant de l'absorbeur**

La lame d'air d'épaisseur e' située entre la vitre et l'absorbeur se comporte comme un isolant vis-à-vis de la transmission par conductibilité ; mais si e' est trop grand, une convection naturelle de l'air intervient, ce qui entraîne des pertes non négligeables par convection. Pour les températures usuelles de fonctionnement du capteur plan on prend : e' ~ 2,5cm. En plaçant deux vitres on limite évidemment les pertes dues à la réémission (double effet de serre) et on limite aussi les pertes par conduction – convection.

- **Les parties arrière et latérales**

On place un isolant (laine de verre, polystyrène, polyuréthane) sur ces parties afin de limiter les pertes par conduction – convection à la périphérie [12].

II.3.4. 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. Par rapport à l'eau, l'air a les avantages suivants :

• Pas de problème de gel l'hiver ou d'ébullition l'été.
• Pas de problème de corrosion (l'air sec).
• Toute fuite est sans conséquence.
• Il n'est pas nécessaire d'utiliser un échangeur de chaleur pour le chauffage des locaux.
• Le système à mettre en œuvre est plus simple et plus fiable.

Cependant il présente certains inconvénients, à savoir :

• L'air ne peut servir qu'au chauffage des locaux ou pour le séchage solaire.
• Le produit masse volumique - capacité calorifique, est faible (ρ. Cp=1225 J/m^3. K) pour l'air contre 4.2.10^6 J/m^3. K) pour l'eau.
• Les conduites doivent avoir une forte section pour laisser passer un débit suffisant.

II.3.5. 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 [4].

II.4. Classification des capteurs

On peut classer les capteurs selon :

II.4.1. Le fluide de travail utilisé

On peut trouver :

a. **Des capteurs solaires à air**

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

b. **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).

Les capteurs à eau peuvent être classés en capteurs à :

- Faible pression de circulation, tel est le cas du chauffage des piscines.
- Haute pression de circulation où le circuit d'eau est généralement constitué de tubes de cuivre et de plaques métalliques qui augmentent la surface d'absorption.

L'eau et l'air sont les principaux fluides de travail utilisés pour les capteurs solaires plans, mais il en existe d'autres, tels que les hydrocarbures qui sont utilisés pour la réfrigération et la génération d'électricité.

II.4.2. L'orientation des capteurs

Les capteurs solaires peuvent être :

a. **Des capteurs fixes**

Ces capteurs ne bougent pas dans la journée, ce qui est le cas des chauffe-eaux solaires domestiques, et présentent les propriétés suivantes :

- La simplicité et la fiabilité.
- Un faible entretien.

Ils peuvent faire partie intégrante d'une construction (toit ou mur). L'angle d'incidence du rayonnement solaire sur l'absorbeur n'est pas très longtemps, chaque jour à son maximum d'efficacité.

b. **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.4.3. Le type des composants

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

a. **La couverture**

Elle peut exister ou pas, on peut alors trouver :

i. **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.

Un capteur solaire non vitré, aussi appelé capteur "moquette", est composé d'un absorbeur (métallique ou synthétique) revêtu d'une peinture sombre et sélective, d'un faisceau de tubes cylindriques ou ovalisés, résistants aux rayonnements ultraviolets et aux variations de température.

Les tubes sont parcourus par de l'eau (fluide caloporteur). Cette eau se réchauffe au fil de l'écoulement dans les tubes. Ces capteurs solaires ne sont généralement pas isolés. De ce fait, en sortie du capteur, l'eau n'excède pas 20°C.

Est beaucoup plus économique mais moins répandu. Très dépendant de la température extérieure, il est généralement utilisé dans les installations de chauffage de piscine mais peut parfois faire office de système de chauffage de l'eau sanitaire dans les pays chaud. Dans les zones tempérées, la température de fonctionnement est généralement inférieure à 30°C. Il est seulement constitué d'un absorbeur dans lequel circule le fluide caloporteur.

ii. **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.

C'est le modèle le plus répandu, Est utilisé dans les installations de chauffage de l'eau sanitaire ou des locaux.

La température de fonctionnement est généralement comprise entre 30°C et 60°C.

Il est constitué d'une caisse isolée couverte par un vitrage. A l'intérieur, on retrouve l'absorbeur dans lequel circule le fluide caloporteur (un serpentin contenant le fluide à réchauffer), Pour que le serpentin absorbe mieux la chaleur, il est bordé par des ailettes noires, la couleur noire transformant mieux la chaleur absorbée. le vitrage bloque le rayonnement infrarouge et isole la lame d'air au-dessus de l'absorbeur pour garder la chaleur.

Dans ce genre de modèle, l'absorbeur est protégé contre les déperditions thermiques par un matériau isolant (la plupart du temps, de la laine de roche).

La vitre est quant à elle faite de verre trempé très résistant (intempéries, grêle), très transparente (faible teneur en fer) et spécialement conçue pour présenter un faible niveau de réflexion afin d'emmagasiner un maximum de chaleur.

Si ces capteurs sont les modèles les plus choisis, c'est qu'ils sont :

- Robustes et d'une structure simple.
- Techniquement perfectionnés (qualité de la vitre, isolation).
- D'un rapport prix/performances sans égal.
- Faciles à intégrer grâce à leur surface plane.
- Discrets en montage sur le toit.

Les détails qui vont faire la différence, se trouvent dans la qualité de fabrication du caisson (aluminium, acier inoxydable), la qualité et l'épaisseur de l'isolation autour de l'absorbeur, le vitrage et son traitement anti-réflexion, les joints et l'assemblage.

b. **L'absorbeur**

L'absorbeur peut être classé suivant sa forme. On trouve [6] :

- Les capteurs plans.
- Les capteurs à cavités.

II.5. Rendement d'un capteur plan

II.5.1. Bilan énergétique

Soit $\dot{Q}^*$ l'énergie solaire absorbée par un capteur. Une partie de celle-ci est emmagasinée dans le fluide caloporteur ; c'est l'énergie utile $\dot{Q}_u$. Cette énergie peut être directement utilisée (chauffage par air chaud par exemple) ou bien transférée à un stockage (ballon d'eau chaude, lit de galets, …).

Un capteur solaire est sujet à des pertes thermiques. Une partie de l'énergie absorbée est transférée vers l'environnement sous forme d'énergie thermique principalement par convection et rayonnement. Ces pertes seront notées $\dot{Q}_a$.

Enfin si on s'intéresse à une période de mise en température du système (au démarrage par exemple) il faudra tenir compte de l'énergie absorbée par le capteur pour qu'il atteigne sa température de fonctionnement. Cette énergie, notée $\dot{Q}_t$, dépend de l'inertie thermique de l'installation. On a donc :

$$\dot{Q}^* = \dot{Q}_a + \dot{Q}_u + \dot{Q}_t \qquad \text{(II.1)}$$

En notant G^* la puissance solaire globale reçue par le capteur, le rendement moyen de celui-ci sur une période Δt s'écrit [4]:

$$\bar{\eta} = \frac{\int_0^{\Delta t} \dot{Q}_u \, dt}{\int_0^{\Delta t} G^* \, dt} \qquad \text{(II.2)}$$

II.5.2. Influence de la température de l'absorbeur

Pour étudier l'influence de la température de l'absorbeur, notée T_p considérons un capteur plan à eau possédant une vitre. L'absorbeur est constitué d'une plaque plane sous laquelle sont soudés des tubes à section circulaire. Les paramètres sont les suivants :

- Dimensions : longueur L, largeur I, distance plaque-vitre b, épaisseur de l'isolant e_i.

Les hypothèses pour calculer le rendement d'un capteur sont les suivantes :

- Le régime est supposé permanant.
- La vitre et la surface absorbante sont supposées isothermes.
- On suppose un capteur infini, les grandeurs étant déterminées par m^2 de surface absorbante.

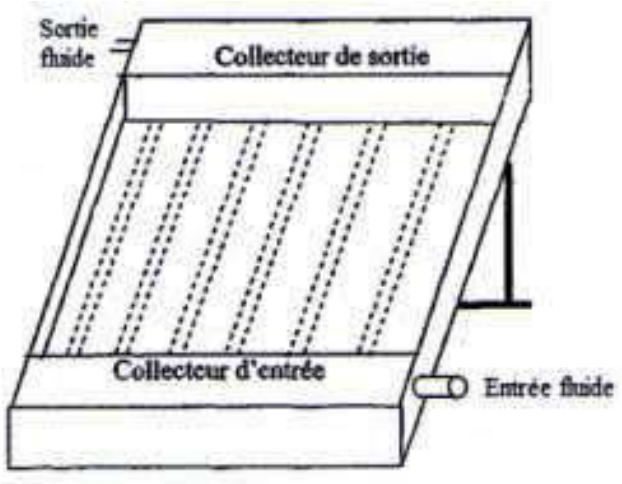


Figure II.2 : Schéma du capteur étudié.

La figure II.3 indique les paramètres utilisés pour exprimer les différentes températures.

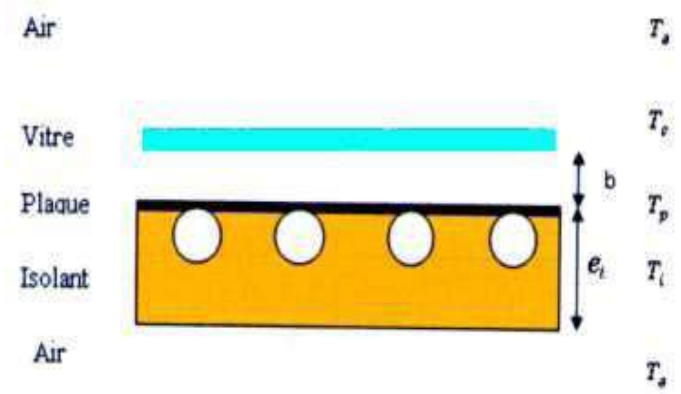


Figure II.3 : Les températures des différents éléments intervenant dans la détermination du rendement d'un capteur plan.

En régime permanant :

$$\dot{Q}_t = 0 \qquad \text{(II.3)}$$

On peut écrire l'expression de la puissance solaire absorbée par le capteur :

$$\dot{Q}^* = \tau_c^* \ . \alpha_p^* \ . G^* \quad \text{(II.4)}$$

Avec :

α_p^* : Coefficient d'absorption solaire de la plaque absorbante.

τ_c^* : Coefficient de transmission solaire de la couverture transparente.

G^* : Eclairement solaire en W/m^2

Le flux thermique échangé avec l'environnement T_a s'écrit :

$$\dot{Q}_a = \text{K}\ (T_p - T_a) \quad \text{(II.5)}$$

Avec :

K : La conductance thermique en (W/m^{2}K).

T_p : Température de la plaque.

T_a : Température ambiante.

❖ **Le rendement instantané η**

C'est le rapport entre l'énergie extraite en sortie du capteur, et l'énergie à l'entrée (Ensoleillement). Il est donné par :

$$\eta = \frac{\dot{Q}_u}{G^*} = \frac{\dot{Q}^* - \dot{Q}_a}{G^*} = (\tau_c^* \ . \alpha_p^*) - \frac{\text{K}\ (T_p - T_a)}{G^*} \quad \text{(II.6)}$$

$$\eta = v^* - \frac{\text{K}\ (T_p - T_a)}{G^*} \quad \text{(II.7)}$$

Avec :

$\dot{Q}^*$: Flux solaire absorbé(w).

$\dot{Q}_a$: Flux perdu par la paroi absorbante(w).

$\dot{Q}_u$: Flux utile transmis au fluide caloporteur (w).

II.5.3. Influence de la température du fluide caloporteur

On cherche à déterminer le rendement du capteur en fonction de la température T_{fe} du fluide à l'entrée du capteur. Dans le paragraphe précédent on a considéré la surface absorbante isotherme à T_p. En réalité la plaque est soumise à un champ de température non uniforme, constant en régime permanant.

Le capteur plan étudié de longueur L et de largeur l est représenté par la figure (II.4).

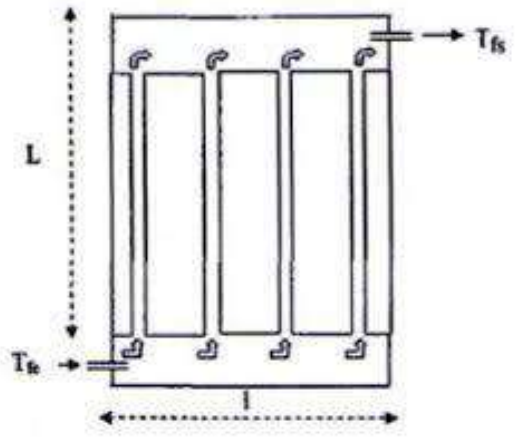


Figure II.4 : Schéma simplificateur d'un capteur plan étudié.

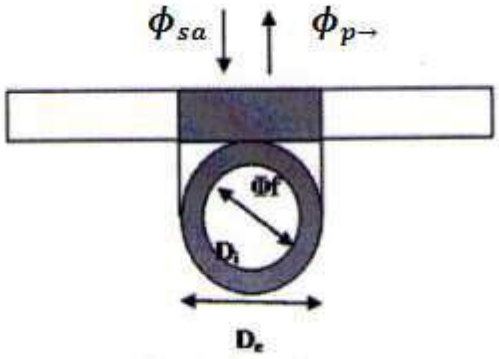


Figure II.5 : Schéma servant au calcul du bilan thermique

En régime permanent, on a :

$$\dot{Q}^* = \dot{Q}_a + \dot{Q}_u + \dot{Q}_t \quad \text{(II.8)}$$

$$\dot{Q}_t = 0 \quad \text{(II.9)}$$

$$\dot{Q}^* = \dot{Q}_a + \dot{Q}_u \quad \text{(II.10)}$$

La puissance thermique $\dot{Q}_f$ absorbée par le fluide caloporteur par mètre de longueur de tuyauterie.

$$\dot{Q}_f = [\dot{Q}^* - \mathrm{K}\,(T_f - T_a)]\ \mathrm{p}\ .\ \mathrm{F} \quad \text{(II.11)}$$

$$\mathrm{p} = \mathrm{D_e} \cdot 2\mathrm{w} \quad \text{(II.12)}$$

Avec :

w : Espacement entre deux tubes en (mm).

T_f : Température du fluide en (K).

p : pas entre tuyauteries (mm).

$\mathrm{D_e}$: Diamètre extérieur de la conduite en (mm).

$$F = \frac{1}{\frac{p}{D_e \cdot 2W \cdot \eta_w} + \frac{Pk}{x h_c}} \quad \text{(II.13)}$$

$$x = \pi \cdot D_i \quad \text{(II.14)}$$

$$\eta_w = \frac{th(m \cdot w)}{m \cdot w} \quad \text{(II.15)}$$

$$m^2 = \frac{K}{\lambda_p \delta} \quad \text{(II.16)}$$

$$\lambda_c = \frac{N_u \lambda_f}{D_h} \quad \text{(II.17)}$$

Où :

F : Facteur de rendement du capteur (entre 0.92 et 0.97).

η_w : Efficacité de l'ailette.

x : Le périmètre mouillé de la conduite (mm).

D_i : Le diamètre intérieur de la conduite (mm).

th : Représente la fonction tangente hyperbolique.

h_c : Coefficient d'échange par convection entre la paroi et le fluide (W/(m^2K).

λ_p : Conductivité thermique du matériau constituant la plaque absorbante (W/m K).

λ_f : Conductivité thermique du fluide (W/m K).

δ : Epaisseur de la surface absorbante.

Nu : Nombre de Nusselt.

D_h : Diamètre hydraulique (mm).

La relation de Nusselt est donnée par :

$$Nu = 1.75 \left(\frac{\mu_f}{\mu_p}\right)^{0.14} \left[\frac{R_e . P_r . D_i}{L_T} + \left(\frac{G_r^{1/3} . R_e . P_r . D_i}{L_T}\right)^{4/3}\right]^{1/2} \quad \text{(II.18)}$$

Avec :

L_T : Longueur des tubes (mm).

μ_f : La viscosité à la température moyenne du fluide (pa.s).

μ_p : La viscosité à la température moyenne des parois (pa.s).

Où :

$$G_r = \rho_a^2 \cdot \frac{g}{T_m} \cdot \frac{(T_p - T_c) b^3}{\mu_a^2} \quad \text{(II.19)}$$

$$T_m = \frac{T_p + T_c}{2} \quad \text{(II.20)}$$

$$R_e = \frac{\rho_a V D_i}{\mu_a} \quad \text{(II.21)}$$

$$P_r = \frac{\mu C_p}{\lambda_f} \quad \text{(II.22)}$$

Avec :

R_e : Nombre de Reynolds.

G_r : Nombre de Grashof.

P_r : Nombre de Prandtl.

ρ_a : Masse volumique (Kg/m^3).

g : Accélération de pesanteur (m/s^2).

T_m : Température moyenne de l'air confiné entre l'absorbeur et la vitre.

T_c : Température de la vitre (Kelvin).

b : Distance absorbeur- vitre (mm).

La relation de Nusselt pour un régime laminaire ($R_e < 2100$), en convection forcée est proposée par SIEDER et TATE :

$$Nu = 1.86 \cdot (R_e \cdot P_r \cdot D_i / L)^{1/3} \cdot (\mu_f / \mu_p)^{0.14} \quad \text{(II.23)}$$

Pour un régime turbulent ($R_e > 10000$), le nombre de Nusselt est donné par :

$$Nu = 0.023 \cdot R_e^{0,8} \cdot P_r^{1/3} \cdot \left(\frac{\mu_a}{\mu_p}\right)^{0.14} \quad \text{(II.24)}$$

La puissance fournie au fluide par mètre carré de capteur s'écrit :

$$\dot{Q}_u = \dot{M} \cdot C_p \, (T_{fs} - T_{fe}) \quad \text{(II.25)}$$

Avec :

$$\dot{M} = \frac{\dot{m}}{pL} \quad , \quad \dot{m} = \frac{\rho \dot{V}}{n_t} \quad , \quad n_t = \frac{l}{p} \quad \text{(II.26)}$$

$\dot{Q}_u$: La puissance fournie au fluide par mètre carré de capteur (w/m).

$\dot{M}$: Débit massique par unité de surface de capteur (Kg/s.m^2).

L : Longueur du capteur (mm).

$\dot{m}$: Débit massique par tuyauterie (Kg/s).

ρ : Masse volumique (Kg/m^3).

$\dot{V}$: Débit volumique du fluide (m^2/s.).

n_t : Nombre de tuyauteries.

l : Largeur de la surface absorbante (mm).

C_p : Capacité calorifique du fluide (KJ / Kg · K).

T_{fs} et T_{fe} sont respectivement température d'entrée et de sortie du fluide caloporteur (Kelvin).

Posons :

$$F_t = \frac{C_p \dot{M}}{K}\left[1 - \exp\left(-\frac{F\,K}{C_p \dot{M}}\right)\right] \quad \text{(II.27)}$$

Avec :

F_t: Facteur de transfert thermique.

Ce facteur représente le rapport du flux thermique réel reçu par le fluide sur celui qui serait récupéré si la surface absorbante était isotherme à T_{fe}.

On a donc :

$$\dot{Q}_u = F_t\left[\dot{Q}^* - K(T_{fe} - T_a)\right] \quad \text{(II.28)}$$

D'où le rendement instantané [4]:

$$\eta = F_t\left[v^* - \frac{\mathrm{K}(T_{fe} - T_a)}{G^*}\right] \quad \text{(II.29)}$$

Chapitre III
Etude des paramètres influents sur les performances d’un capteur solaire plan

Etude des paramètres influents sur les performances d'un capteur solaire plan

III.1. Introduction

La production de l'énergie thermique à partir de l'énergie solaire par les capteurs plans connait de nos jours de nombreuses applications vue leurs innombrables intérêts économiques et environnementaux.

Il est bien évident que ce sont les performances du capteur solaire qui permettent de juger si l'énergie solaire est adaptée à telle ou telle application. En effet, une compréhension meilleure des mécanismes fondamentaux régissant le bon fonctionnement d'un capteur il permet d'une part, de maîtriser tous les paramètres extrinsèques ou intrinsèques entrant dans le processus de transfert et par la suite connaître sur quelle base, on peut agir pour optimiser le rendement du capteur solaire et d'une autre part, adapter ce qu'il faut à la fonction ou l'application qu'il faut [13].

Dans ce chapitre nous allons étudier l'effet de quelques paramètres opérationnels sur les performances du capteur solaire plan à eau en régime permanent.

III.2. Etude de l'effet de quelques paramètres sur le rendement du capteur solaire en régime permanent

Pour étudier l'influence de de quelques paramètres sur le rendement, nous considérons plusieurs capteurs plans à eau possédant une vitre. L'absorbeur est constitué d'une plaque plane sous laquelle sont soudés des tubes à section circulaire.

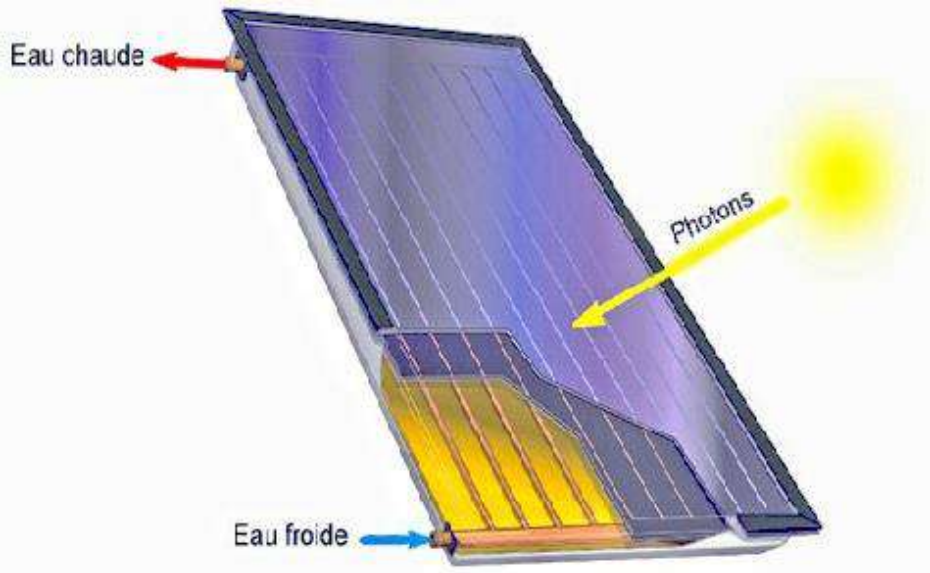


Figure III.1 : capteur plan étudié.

Les hypothèses pour calculer le rendement instantané d'un capteur solaire plan sont les suivantes :

- Le régime est supposé permanant, la vitre et la surface absorbante sont supposées Isothermes.

- Longueur de l'absorbeur L = 2 m

- Largeur de l'absorbeur l = 1.2 m

- Diamètres des tubes 0.04 m

- température d'entrée et de sortie du fluide T_{fe} = 30 ˚C , T_{fs} = 60 ˚C

- L'éclairement solaire G = 850 W/m^2

- Chaleur spécifique de l'eau liquide C_P=4185 J/Kg.K

La formule utiliser dans cette étude est la suivante [14] :

$$\eta = m \,.\, Cp \,.\left(\frac{T_{fs} - T_{fe}}{Ac \,.\, G}\right) \qquad \text{(III.1)}$$

III.2.1 Effet du débit massique sur le rendement instantané du capteur

m (Kg/s)	**0**	**0,001**	**0,002**	**0,003**	**0,004**	**0,005**	**0,006**	**0,007**	**0,008**	**0,009**	**0,01**
T_{fe} (°C)	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
T_{fs} (°C)	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
Ac (m^2)	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4
G (W/m^2)	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850
Cp (J/kg K)	4185	4185	4185	4185	4185	4185	4185	4185	4185	4185	4185
η	0	0,0615	0,1231	0,1846	0,2462	0,3077	0,3693	0,4308	0,4924	0,5539	0,6154

Tableau III.1 : Les résultats de $\eta = f(m)$

La figure III.2 montre clairement que le rendement instantané du capteur solaire est une fonction linéaire croissante du débit du fluide.

En fait, l'augmentation du débit conduit l'écoulement du fluide vers la turbulence ce qui favorisera le transfert thermique convectif entre l'absorbeur et le fluide caloporteur.

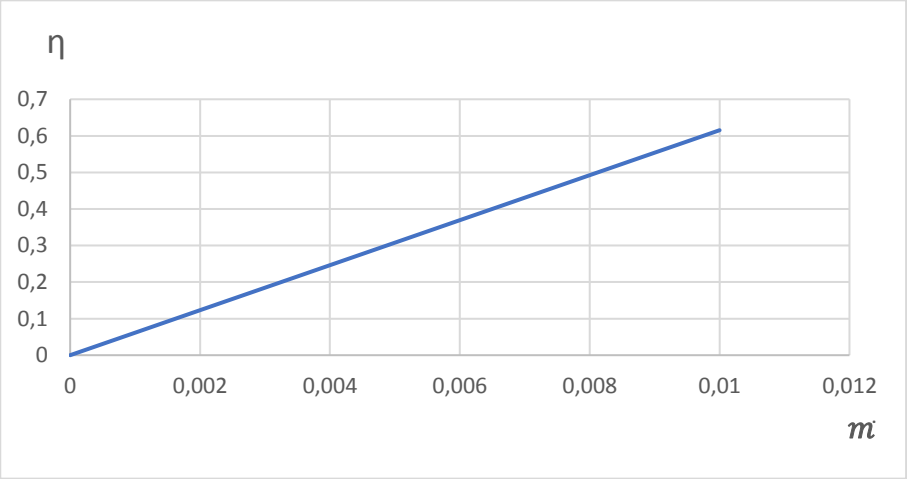


Figure III.2 : Variation du rendement instantané avec le débit massique

III.2 .2. Effet de la température d'entrée du fluide caloporteur T_{fe}

m (Kg/s)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Cp (J/kg K)	4185	4185	4185	4185	4185	4185	4185	4185	4185
T_{fs} (°C)	55	55	55	55	55	55	55	55	55
T_{fe} (°C)	**15**	**20**	**25**	**30**	**35**	**40**	**45**	**50**	**55**
Ac (m^2)	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4
G (W/m^2)	850	850	850	850	850	850	850	850	850
η	0,8206	0,718	0,6154	0,5129	0,4103	0,3077	0,2051	0,1026	0

Tableau III.2 : Les résultats de $\eta = f(T_{fe})$

L'effet de la température d'entrée du fluide caloporteur sur le rendement instantané du capteur solaire est mis en évidence sur la Figure III.3 qui permet d'observer que pour une température de sortie donnée, l'augmentation de la température d'entrée du fluide conduit à une diminution du rendement instantané.

En effet, l'énergie utile récupérée par le fluide caloporteur étant étroitement liée à l'écart de température entre la sortie et l'entrée du fluide, il s'en suit un abaissement de celle-ci et par conséquent du rendement instantané.

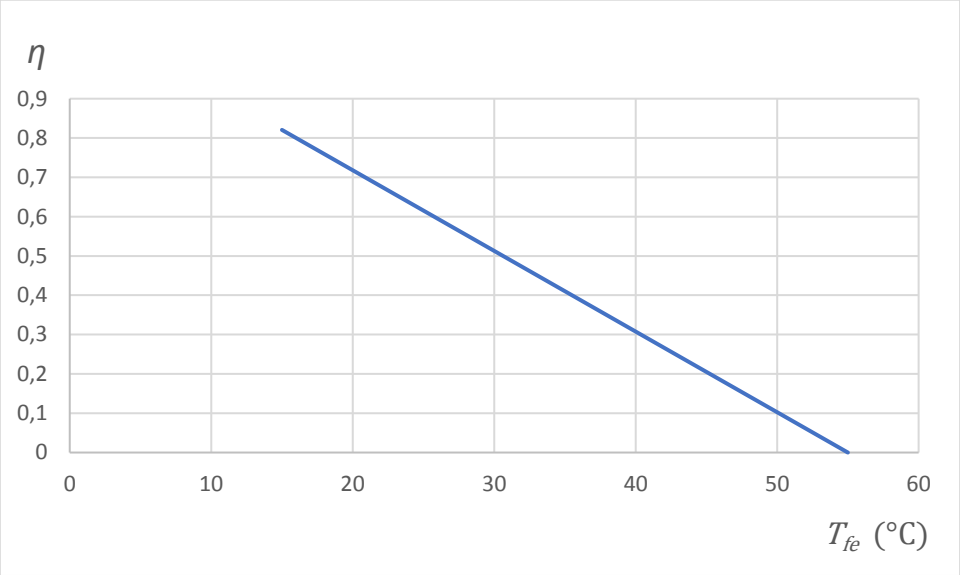


Figure III.3 : Variation du rendement instantané avec le changement de T_{fe}

III.2.3. Effet de la différence de température entre le fluide et l'air ambiant ΔTfld,ext

• Nous allons appliquer la formule suivante sur un capteur solaire plan à eau [14] :

$$\eta = \beta - K \times \frac{\Delta T_{fld,ext}}{G} \quad \text{(La méthode française)} \qquad \text{(III.2)}$$

β **:** Facteur optique du capteur (sans dimension).

K **:** Coefficient de déperdition du capteur (W/m².K).

$\Delta T_{fld,ext}$: La différence de température entre le fluide caloporteur, et l'air ambiant Ta

$$\Delta T_{fld,ext} = T_m - T_a \qquad \text{(III.3)}$$

$$T_m = \frac{T_{fe}+T_{fs}}{2} \qquad \text{(III.4)}$$

T_a : La température extérieure (ambiante en °C).

T_{fe} : La température d'entrée du fluide en °C.

T_{fs}: La température de sortie du fluide en °C.

G : Eclairement solaire (W/m^2).

Le facteur K est représentatif des pertes thermiques du capteur solaire. Ces pertes thermiques se font à la fois par conduction (au dos du capteur) et par convection (échange de chaleur avec l'air environnant). Plus le coefficient K est faible, moins il y a de perte thermique.

Type de capteur	**Valeur de coefficient K**
Capteur sans vitre	Entre 20 et 25
Capteur vitré simple	Entre 4 et 6
Capteur vitré sélectif	Entre 3 et 5
Capteur sous vides	Entre 1 et 3

Tableau III.3 : Les différentes valeurs du K

On va supposer que :

- Le capteur solaire est un capteur plan où la facteur optique β=0.7 et le coefficient de déperdition K=4.5
- L'éclairement G est de 750 W/m²

β	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
K	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5
$\Delta Tfex$	**5**	**10**	**15**	**20**	**25**	**30**	**35**	**40**	**45**	**50**
G	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900
η	0,675	0,65	0,625	0,6	0,575	0,55	0,525	0,5	0,475	0,45

Tableau III.4 : Les résultats de $\eta=f(\Delta T_{fld,ext})$

Il est évident de constater sur l'équation du rendement $\left(\eta = \beta - K \times \frac{\Delta T_{fld,ext}}{G}\right)$ que l'augmentation de la différence de température entre le fluide caloporteur T_m, et l'air ambiant T_a abaisse le rendement instantané du capteur, ce qui montré sur la Figure III.4. De ce fait, plus-la température du fluide T_m est proche de la température ambiante plus les déperditions thermiques du capteur sont moindres ce qui se traduit par un rendement meilleur.

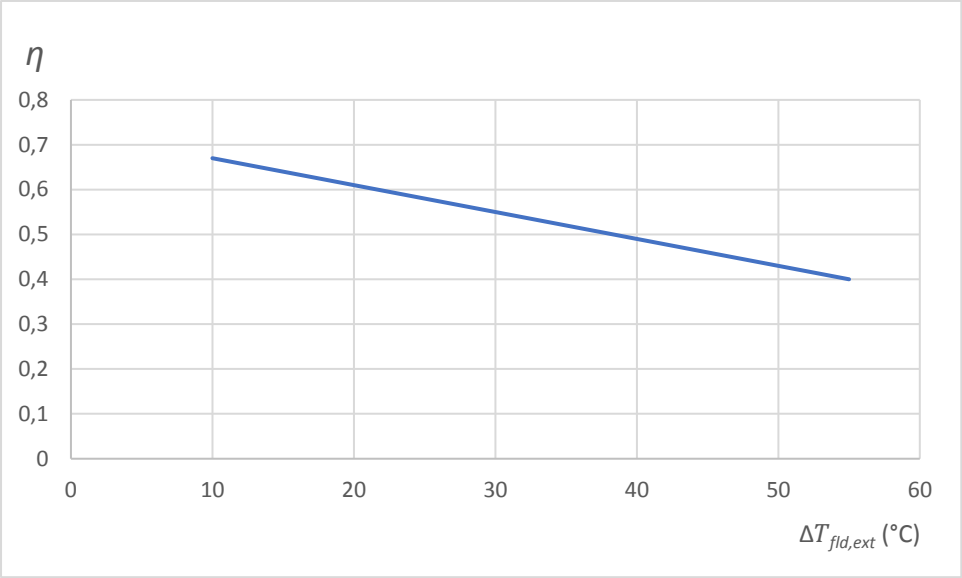


Figure III.4 : Variation du rendement instantané avec le changement de $\Delta T_{fld,ext}$

III.2.4. Effet de la variation de l'éclairement global *G* sur le rendement

β	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
k	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5
Tm	50	50	50	50	50	50	50	50	50
$\Delta Tfex$	20	20	20	20	20	20	20	20	20
G	**100**	**200**	**300**	**400**	**500**	**600**	**700**	**800**	**900**
η	0	0,25	0,4	0,475	0,52	0,55	0,5714286	0,5875	0,6

Tableau III.5 : Les résultats de *η=f(G)*

La Figure III.5 montre que le rendement instantané du capteur est une fonction croissante du rayonnement solaire global, ceci s'explique par la relation qui existe entre l'énergie utile récupérée par le fluide de travail et le rayonnement solaire global.

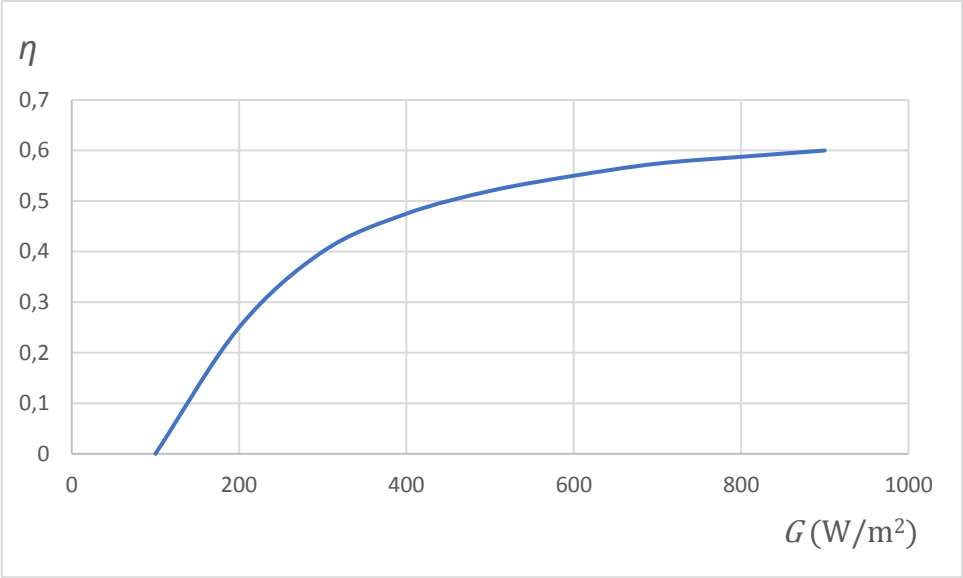


Figure III.5 : Variation du rendement instantané avec le changement de l'éclairement solaire *G**.

III.2.5. Effet de la variation des nombres de tubes sur le rendement instantané

Dans cette étude on va utiliser la formule suivante [14] :

$$\eta = F_t \left[v^* - \frac{K(T_{fe} - T_a)}{G^*} \right] \qquad \text{(III.5)}$$

Les paramètres du capteur étudié :

- Longueur de l'absorbeur L = 2 m
- Largeur de l'absorbeur l = 1.5 m
- Surface de l'absorbeur A_c = 3 m^2
- Diamètre des tubes d =0.04 m
- Température d'entrée du fluide T_{fe}= 25 °C
- Température de sortie du fluide T_{fs}= 65°C
- Température de la plaque absorbante T_p = 65 °C
- Température ambiante T_a= 20 °C
- Débit volumique = 10^{-5} m^3/s
- L'éclairement solaire G = 950 W/m^2
- Chaleur spécifique de l'eau liquide 4185 J/ Kg.K

n_t	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
$\dot{m}$	0,001	0,00067	0,0005	0,0004	0,00033	0,00029	0,00025	0,00022	0,0002	0,00018
$\dot{M}$	0,005	0,00335	0,0025	0,002	0,00165	0,00145	0,00125	0,0011	0,001	0,0009
$\dot{Q}_u$	837	560,79	418,5	334,8	276,21	242,73	209,25	184,14	167,4	150,66
$\dot{Q}_a$	202,5	202,5	202,5	202,5	202,5	202,5	202,5	202,5	202,5	202,5
$\dot{Q}_u$	167,4	112,158	83,7	66,96	55,242	48,546	41,85	36,828	33,48	30,132
$\dot{Q}^*$	369,9	314,658	286,2	269,46	257,742	251,046	244,35	239,328	235,98	232,632
v^*	0,3893684	0,3312189	0,3012632	0,2836421	0,2713074	0,2642589	0,2572105	0,2519242	0,2484	0,2448758
η	0,8811	0,5903	0,4405	0,3524	0,2907	0,2555	0,2203	0,1938	0,1762	0,1586

Tableau III.6 : Les résultats de $\eta=f(n_t)$

La Figure III.6 montre clairement que le rendement instantané du capteur est une fonction décroissante de nombre de tube. L'augmentation de nombre des tubes influent négativement le rendement instantané. C'est dû aux pertes thermiques qui augmentent avec l'augmentation des surfaces de perte.

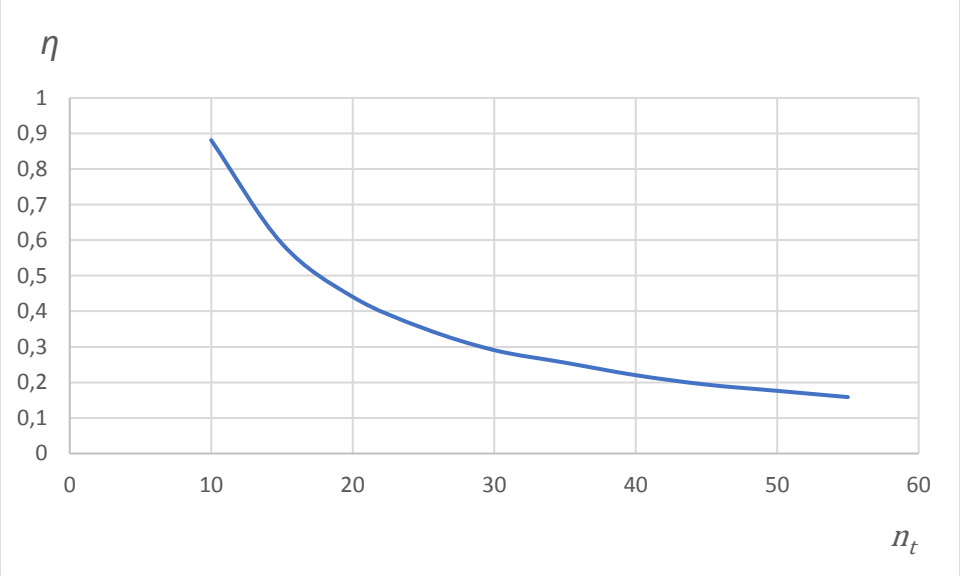


Figure III.6 : Variation du rendement instantané avec le changement de nombre des tubes.

III.2.6. Effet de la variation de la longueur L sur le rendement instantané

La formule utiliser pour l'étude de ce capteur est :

$$\eta = \frac{\dot{Q}_u}{G^*} \qquad \text{(III.6)}$$

Les paramètres du capteur étudié :

- Nombre des tubes =10
- Température d'entrée du fluide T_{fe} = 25 °C
- Température de sortie du fluide T_{fs} = 65 °C

- Température de la plaque absorbante T_p = *65* °C
- Température ambiante T_a = 20 °C
- Débit massique de l'eau = 0.001 kg/s
- L'éclairement solaire G = 950 W/m^2
- Chaleur spécifique de l'eau liquide C_p = 4185 J/Kg.°K

L	**0,6**	**0,7**	**0,8**	**0,9**	**1**	**1,1**	**1,2**	**1,3**	**1,4**	**1,5**
$\dot{M}$	0,0051	0,0043	0,0038	0,0034	0,003	0,0028	0,0025	0,0023	0,0022	0,002
$\dot{Q}_u$	853,74	719,82	636,12	569,16	502,2	468,72	418,5	385,02	368,28	334,8
η	0,9	0,76	0,67	0,6	0,53	0,49	0,44	0,41	0,39	0,35

Tableau III.7 : Les résultats de *η=f(L)*

La Figure III.7 montre clairement que le rendement instantané diminue avec l'augmentation de la longueur des tubes. C'est dû aux pertes thermiques qui augmentent avec l'augmentation des surfaces de perte.

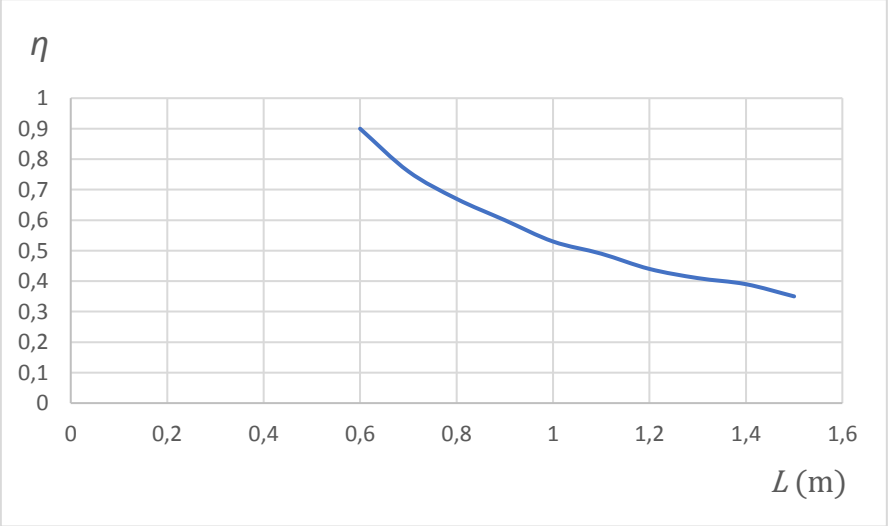


Figure III.7 : Variation du rendement instantané avec la variation de la longueur.

Conclusion Générale

Conclusion générale

Dans le cadre de ce travail, nous avons entrepris une étude sur les performances d'un capteur solaire plan à eau. Pour ce faire, nous avons fait une étude sur l'influence de quelques paramètres sur le rendement instantané du capteur plan ou nous avons fait varier le rendement en fonction de ces paramètres à travers un calcul numérique.

Les résultats obtenus mettent en évidence l'influence de ces paramètres sur le rendement instantané du capteur plan. Il apparait clairement que le rendement instantané est une fonction proportionnelle de l'éclairement solaire globale qui joue un rôle prépondérant. En outre, l'augmentation du débit massique favorise l'amélioration du rendement instantané du capteur par contre l'augmentation de la température d'entrée pour une température de sortie constante ne favorise pas le rendement instantané du capteur.

Pour faire court les résultats obtenus nous ont permis de faire les conclusions suivantes :

- Assurer d'avoir un débit massique élevé pour améliorer l'énergie utile récupérer.
- Faut choisir une température d'entrée du fluide caloporteur assez faible.
- Maintenir une faible différence de température entre le fluide caloporteur et l'air ambiant.
- L'augmentation de la température de l'ambiance favorise l'amélioration du rendement Instantané du capteur solaire.
- Avoir un éclairement solaire élevé permet d'améliorer le rendement du capteur.
- La longueur et le nombre des tubes dans un capteur influent négativement le rendement instantané.

Références Bibliographiques

Références Bibliographiques

[1] BEKKOUCHE, S., Modélisation du Comportement Thermique de Quelques Dispositifs Solaires, thèse de doctorat, Université Abou-Bakr Belkaid – Tlemcen, 2008 - 2009.

[2] Tabet, I., Etude, Réalisation et simulation d'un capteur solaire. Thèse doctorat, Université des Frères Mentouri Constantine, 2016.

[3] AISSAOUI, F., Contribution à l'étude du transfert de chaleur d'un capteur solaire placé dans un climat aride : cas de la région de Biskra. Thèse doctorat, Université Mohamed Khider – Biskra, 2017.

[4] Bernard, J., Energie solaire calculs et optimisation, Ellipse Edition Marketing, 2004.

[5] Bonal, J., Rossetti, P., Les énergies alternatives, Omniscience. 2007.

[6] Edwards, D,K., Capteurs solaires, Edition SCM, paris, 1979.

[7] Maifi, L., Etude et modélisation d'un panneau solaire thermique photovoltaïque, thèse de Doctorat, Université Frères Mentouri Constantine 1,2018.

[8] Oudrane, A., Contribution à la Modélisation et au Développement des Systèmes de Chauffage Solaire à Usage Individuel, thèse de doctorat, Ecole Nationale Polytechnique d'Oran – Maurice Audin, 2018.

[9] F.A. Peuser, K.H. Remmers, M.schanauss, installations solaires thermiques conception et mise en œuvre, 2005.

[10] Bernard, J., énergie solaire calculs et optimisation, nouvelle Edition, 2011.

[11] Degionanni, A., Techniques de l'ingénieur, conduction, BE8200. (1981).

[12] ZIDANI, C., Conception et modélisation des systèmes photothermiques. Applications aux systèmes photothermiques alimentés par fibres optiques, thèse de doctorat, Université Abou Bekr Belkaid de Tlemcen, 2012.

[13] A. Labed, N. Moummi, K. Aouès, M. Zellouf et A. Moummi, Etude théorique et expérimentale des performances d'un capteur solaire plan à air muni d'une nouvelle forme de rugosité artificielle, Revue des Energies Renouvelables, Vol. 12, no. 4, pp. 551 – 561, 2009.

[14] M.S. NOUN. Etude des paramètres impactant sur le rendement d'un capteur solaire, mémoire master 2, Université Badji Mokhtar-Annaba, 2017 – 2018.

Résumé

Etude des performances d'un capteur solaire thermique plan

Dans le cadre de notre travail, on a entrepris une étude des performances d'un capteur solaire thermique plan.

On a commencé par une présentation générale sur l'énergie solaire, ensuite on a donné un aspect général avec des généralités sur les capteurs solaires thermiques et on a exposé les différents modes de transfert thermique. Par la suite on a dressé un état d'art sur les capteurs solaire plans sujet de notre étude.

Au final, on a étudié l'influence de quelques paramètres opérationnels sur le rendement instantané d'un capteur plan à eau en régime permanant en faisant des calculs sur excel.

Mots clés : Energie solaire, Capteur solaire plan, Transfert thermique, Rendement instantané.

Abstract

Study of the performance of a flat solar thermal collector

During the course of our work, a study of performance of a flat solar thermal collector has been taken.

We started with a general presentation on solar energy, then we gave a general aspect with generalities on solar thermal collectors and we exposed the different transfer modes. After that, we prepared in state of art on the planar solar collector subjects of our study.

In the end, we studied the influence of some operational parameters of a flat-water collector in steady state by making calculations on excel.

Keywords : Solar energy, Flat solar collector, thermal transfer, Instant return.

Résumé

Etude des performances d'un capteur solaire thermique plan

Dans le cadre de notre travail, on a entrepris une étude des performances d'un capteur solaire thermique plan.

On a commencé par une présentation générale sur l'énergie solaire, ensuite on a donné un aspect général avec des généralités sur les capteurs solaires thermiques et on a exposé les différents modes de transfert thermique. Par la suite on a dressé un état d'art sur les capteurs solaire plans sujet de notre étude.

Au final, on a étudié l'influence de quelques paramètres opérationnels sur le rendement instantané d'un capteur plan à eau en régime permanant en faisant des calculs sur excel.

Mots clés : Energie solaire, Capteur solaire plan, Transfert thermique, Rendement instantané.

Abstract

Study of the performance of a flat solar thermal collector

During the course of our work, a study of performance of a flat solar thermal collector has been taken.

We started with a general presentation on solar energy, then we gave a general aspect with generalities on solar thermal collectors and we exposed the different transfer modes. After that, we prepared in state of art on the planar solar collector subjects of our study.

In the end, we studied the influence of some operational parameters of a flat-water collector in steady state by making calculations on excel.

Keywords : Solar energy, Flat solar collector, thermal transfer, Instant return.