

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE ABDERRAHMANE MIRA BEJAIA
FACULTÉ DE TECHNOLOGIE
DÉPARTEMENT DE GÉNIE MÉCANIQUE

MEMOIRE

PRÉSENTÉ POUR L'OBTENTION DU DIPLÔME DE

MASTER

FILIÈRE : GÉNIE MÉCANIQUE

SPÉCIALITÉ : ENERGÉTIQUE

PAR :

NOM PRÉNOM : **BELOUI Sarah**

Thème

ETUDE DES PERFORMANCES D'UN CAPTEUR SOLAIRE THERMIQUE PLAN

Soutenu le 06/10/2020 devant le jury composé de:

Mr. A.BENSLIMAN

Président

Mr. S.SAHI

Examineur

Mr.F.MENDIL

Encadreur

ANNÉE UNIVERSITAIRE 2019-2020

Remerciements

Nous adressons nos plus sincères sentiments de reconnaissance et de remerciement envers le bon DIEU, le clément et le miséricordieux, lequel nous a accordé la force et le courage de mener à bien ce modeste travail.

*Au terme de ce modeste travail, nous tenons à exprimer notre
profonde gratitude et nos vifs remerciements :*

A Dr. MENDIL FASTAH ; notre promoteur, pour son soutien et son enthousiasme tout au long de ce projet de fin d'étude et pour son assistance qui a permis que cette aventure stimulante se concrétise.

Aux membres de jury ; pour avoir accepté de juger notre travail.

A tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire, parmi eux SAHBI Mohand, AZZOUG Karima, OUMELIL Bachir et AROUCHE Elbahi.

Dédicaces

Dédicaces

C'est avec un grand plaisir que je dédie ce modeste travail en guise de

Respect et de reconnaissances à :

❖ *Mes très chers parents, en témoignage et en gratitude de leur soutien Permanent durant toutes mes années d'études leurs sacrifices illimités, leur Réconfort moral et tous les efforts qu'ils ont consentis pour mon instruction et Pour me voir réussir un jour.*

.....que DIEU me les garde.....

❖ *Mes sœurs SYLIA et HOUDA et Mon frère SOFIANE pour leurs aides et leurs encouragements permanents et leur soutien morale pendant toute l'année.*

❖ *Mes chers oncles AYAD REZAK, AYAD MADJID et AYAD KAMEL pour leurs soutien tout au long de mon parcours universitaire, Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués, Merci d'être toujours à mes côtés.*

❖ *Ma grand-mère que DIEU me la garde.*

SOMMAIRE

Liste des figures

Liste des abréviations

Introduction générale.....01

Chapitre I : Généralité sur l'énergie solaire et les capteurs solaires.

I.1.Introduction.....04

I.2.Energie solaire.....04

I.3. Rayonnement solaire05

 I.3.1. Rayonnement direct.....05

 I.3.2. Rayonnement diffus.....05

 I.3.3. Rayonnement réfléchi.....05

I.4.Notion du corps noir.....06

I.5. Emission des corps.....07

 I.5.1.Emission d'un corps noir.....07

 I.5.2. Emission d'un corps quelconque.....08

I.6. Émissivité ϵ 08

I.7. Capteurs solaires.....08

I.8. Capteurs solaires thermiques.....09

I.9. Différents types d'un capteur solaire thermique10

 I.9.1.Capteurs solaires plan (non concentration).....10

 I.9.1.1. Capteurs thermique plans vitrés.....10

 I.9.1.2. Capteurs thermique plan non vitrés.....11

Sommaire

I.9.2. Capteurs a tubes sous vide.....	13
I.10. Les composants d'un capteur solaire thermique plan.....	14
a) Le coffre ou boitier.....	14
b) L'absorbeur.....	14
c) Le fluide caloporteur.....	15
d) L'isolation thermique.....	15
e) La couverture transparente (généralement vitrage).....	15
I.11. Mode de transfert dans les capteurs solaires.....	16
I.11.1. Transfert par conduction.....	16
I.11.2. Transfert par convection.....	16
I.11.3. Transfert par rayonnement.....	17
I.12.conclusion.....	17

Chapitre II : Bilan thermique d'un capteur solaire thermique plan.

II.1.Introduction.....	20
II .2.Bilan énergétique du capteur	20
II.2.1.Hypothèse.....	20
II.2.2.Bilan thermique d'un capteur thermique plan à une seule couverture.....	22
II.2.2.1.Equation d'équilibre de la couverture.....	22
II.2.2.2.Equation d'équilibre de l'absorbeur.....	22
II.2.2.3.Rendement d'un capteur solaire thermique plan.....	23
II.2.3.Evaluation des déperditions thermique du capteur.....	24
II.3.Conclusion.....	28

Chapitre III : Etude des performances d'un capteur solaire thermique plan.

III.1.Introduction.....	30
III.2.Etude des performances d'un capteur solaire plan en régime permanent.....	30
III.2.1.Les différents paramètres d'un capteur solaire plan.....	30

Sommaire

a) Paramètres externes	30
b) Paramètres interne	30
III.2.2.Infulence des quelques paramètres	31
III.2.2.1.Infulence de l'épaisseur de l'isolant.....	31
III.2.2.2.Infulence de la température ambiante.....	32
III.2.2.3.Infulence de coefficient d'échange intérieure.....	33
III.2.2.4.Infulence de l'éclairement solaire.....	34
III.2.2.5.Infulence de facteur de transmission de la couverture transparente.....	34
III.2.2.6.Infulence de conductivité thermique du l'isolant.....	35
III.2.2.7.Infulence du nombre de couverture.....	36
III.3.Conclusion.....	37
Conclusion générale.....	39
Bibliographie.	

Sommaire

Liste des figures

Fig.I.1 : L'énergie solaire.....	4
Fig.I.2 : Les composants du rayonnement solaire reçue par un plan incliné.....	6
Fig.I.3 : Schéma des types de capteur solaire	9
Fig.I.4 : Capteur solaire thermique.....	10
Fig.I.5 : Capteur thermique plan vitré.....	11
Fig.I.6 : Principe de fonctionnement d'un capteur thermique plan.....	12
Fig.I.7 : Capteur à tubes sous vide.....	13
Fig.I.8 : Composants d'un capture solaire plan.....	14
Fig.II.1 : Schéma de bilan thermique d'un capteur solaire plan	22
Fig.II.2 : Circuit électrique équivalent relatif à un capteur solaire plan.....	25
Fig.III.1: Influence de l'épaisseur de l'isolant sur le rendement instantané.....	31
Fig. III.2: Influence de température ambiante sur le rendement instantané.....	32
Fig.III.3: Influence de coefficient d'échange intérieur sur le rendement instantané.....	33
Fig. III.4: Influence de l'éclairement solaire sur le rendement instantané.....	34
Fig. III.5: Influence de Facteur de transmission sur le rendement instantané.....	34
Fig. III.6: Influence de Conductivité thermique sur le rendement instantané.....	35
Fig. III.7: Influence de nombre de couverture sur le rendement instantané.....	36

Liste des abréviations

T : température absolue de l'émetteur.

M^0 : quantité d'énergie émise par unité de surface et de temps en $W.m^{-2}$ (chaleur en général) ou densité de flux thermique.

Φ : flux de chaleur (W).

λ : coefficient de conductivité thermique ($W/m^2.C^\circ$).

S : surface d'échange (m^2).

h : coefficient de convection ($W/m^2.C^\circ$).

S : surface de la paroi solide en contact avec le fluide (m^2).

T_p : Température de la paroi solide (C°).

T_f : Température du fluide (C°).

ε : émissivité thermique du matériau.

S : surface de la paroi solide en contact avec le fluide (m^2).

σ : constante de Stefan-Boltzmann évaluée à $5,67 \times 10^{-8} W/m^2.K^4$.

$T_p - T_f$: Différence de température entre la paroi et du fluide (C).

τ_c : Facteur de transmission de la couverture transparente,

α_p : Facteur d'absorption de la plaque absorbante,

ES : L'éclairement global incident sur le capteur ($W.m^{-2}$)

q_{cf} : Débit calorifique du fluide caloporteur ($W/^\circ C$)

T_{fs} : Température de fluide caloporteur à la sortie de l'absorbeur

T_{fe} : Température de fluide caloporteur à l'entrée de l'absorbeur

U_G : coefficient de pertes global du capteur

T_{mp} : Température moyenne de la paroi absorbante.

M_e : Masse en eau du capteur

T : Température moyenne du capteur

t : le temps

Sommaire

T_a : Température ambiante [$^{\circ}\text{C}$]

T_c : Température de la couverture [$^{\circ}\text{C}$]

T_p : Température de l'absorbeur [$^{\circ}\text{C}$]

T_{ciel} : Température du ciel est estimée par la relation suivante (relation de Swinbank):

$$T_{\text{ciel}} = 0.0552T_a^{1.5} \text{ [K]};$$

V_{vent} : vitesse du vent

ε_c : Emissivité de la couverture; $\varepsilon_c = 0,83$

ε_p : Emissivité de l'absorbeur ; $\varepsilon_p = 0,95$

β : étant l'angle d'incidence du capteur,

Ra : Le nombre de Rayleigh

L_c : longueur caractéristique (espace entre l'absorbeur et la vitre) ;

T_m : la température moyenne de l'air entre l'absorbeur et la vitre

λ_i : La conductivité thermique de l'isolant

e_i : l'épaisseur de l'isolant

A_c : Surface du capteur ;

A_{lat} : Surface des faces latérales du capteur ;

e_{islat} : Epaisseur de l'isolant sur ses faces latérales ;

A thick, dark blue vertical bar is positioned on the left side of the page. From its base, several thin, light blue lines curve upwards and to the right, creating an abstract, organic shape.

Introduction générale.

Introduction générale

De nos jours l'énergie est indispensable, peu importe de quelle forme nous parlons. Après la découverte du charbon, du pétrole et par exemple de l'uranium ces ressources ont connu une énorme expansion. Mais les hommes ont, depuis toujours, exploité toutes ces ressources naturelles comme si elles étaient inépuisables. Mais ce n'est pas le cas et aujourd'hui nous cherchons à remplacer ces ressources dont nous avons pris tellement l'habitude de se servir. Evidemment c'est une mission très dure où l'intérêt économique, écologique et l'incapacité technologique jouent un rôle primordiale. Ce sont les sources d'énergie renouvelables qui devraient remplacer les sources actuelles.

Parmi les énergies renouvelables, l'énergie solaire est la plus dominante et aussi la plus facilement exploitable. De par la diversité de son utilisation et l'intérêt qu'elle porte à travers le monde, cette forme d'énergie a connu un grand essor ces dernières années. Toutefois, le prix élevé de cette énergie par rapport au prix des énergies non renouvelables représente un handicap face à l'expansion de son utilisation. L'optimisation des dispositifs solaires est parmi les solutions recommandées afin de renverser la tendance actuelle et voir l'utilisation de l'énergie solaire se répandre davantage dans le monde.

L'énergie solaire est à l'origine de toutes les formes de production énergétique aujourd'hui utilisées sur la terre, à l'exception de l'énergie nucléaire, de la géothermie et de l'énergie solaire. L'homme utilise l'énergie solaire pour la transformer en d'autres formes d'énergie : énergie chimique (les aliments que notre corps utilise), énergie cinétique, énergie thermique, énergie électrique ou biomasse.

Par extension, l'expression « énergie solaire » est souvent employée pour désigner l'électricité ou l'énergie thermique obtenue à partir de la source énergétique primaire qu'est le rayonnement solaire.

Un des outils utilisés pour exploiter l'énergie solaire est le capteur solaire qui peut être utilisé dans beaucoup d'applications nécessitant des températures basses et modérées, telles que le chauffage des locaux, le séchage des produits agricoles, le séchage du bois, le séchage des briques, etc.... .

L'objectif de ce travail est d'étudier l'influence des paramètres sur le rendement instantané de notre capteur solaire (performances d'un capteur solaire thermique plan).

Le travail qu'on présente est une étude sur les performances d'un capteur solaire plan dont le but essentiel de connaître tous les paramètres influe sur le rendement de Capteur solaire plan.

Le rendement d'un capteur solaire, conçu pour convertir l'énergie solaire en énergie thermique dépend de sa forme, de la technique choisie et de la façon dont on réduit les pertes de chaleur à la surface de celui-ci. Pour notre étude, on a choisi un capteur solaire thermique plan avec vitrage et sans vitrage et l'absorbeur considéré comme corps noir.

Le présent travail se compose de trois chapitres :

♣ Le premier chapitre est une étude bibliographique sur l'énergie solaire avec quelques notions et définitions astronomique. Ainsi généralités sur les capteurs solaires, les types et les différents échanges thermiques mis en jeu au sein du capteur.

♣ Le deuxième chapitre, est consacré à une étude sur le bilan énergétique au niveau de tous les composants d'un capteur solaire plan. En partant des caractéristique, grâce à des différentes équations gouvernant le fonctionnement du système (CSP), qu'on a développé nous pouvons déterminer les performances thermiques du capteur ainsi que la température d'absorbeur de ce capteur solaire plan.

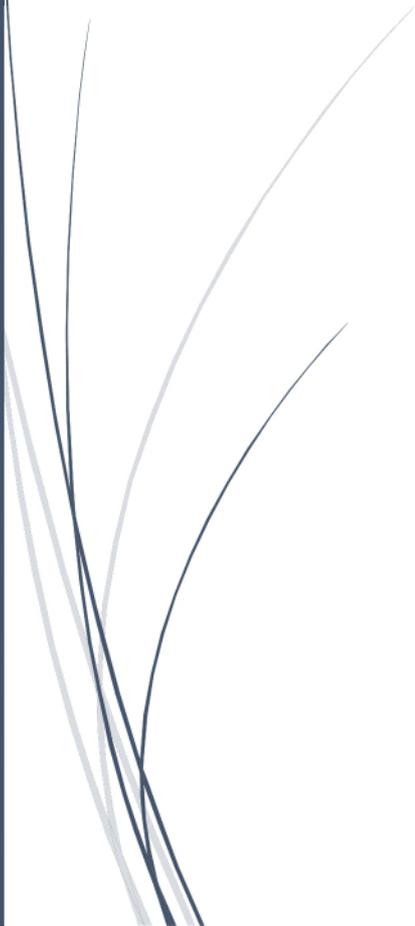
♣ Le dernier chapitre, est réservé à la présentation des résultats graphiques. Pour étudier les paramètres extérieurs et intérieurs influent sur les performances du capteur thermique.

Une conclusion générale se rapportant à ce travail, complète le mémoire.



Chapitre I

Généralité sur l'énergie solaire et les capteurs solaires plans.



I.1. Introduction :

Aujourd'hui nous avons besoin de beaucoup d'énergie pour satisfaire notre mode de vie, pour cela il faut profiter des énergies renouvelables, parmi les énergies renouvelable les plus importante on trouve l'énergie solaire. Mais la majorité des énergies utilisées actuellement sont des énergies fossiles, leur quantité est limitée et leur combustion augmente.

L'utilisation des sources d'énergie solaire permet de réduire la pression sur les ressources naturelles (charbon, pétrole) et de limiter les rejets polluants dans l'atmosphère. Différentes méthodes d'utilisation d'énergies solaire existent à l'heure actuelle. Elles permettent la production d'énergie électrique et de l'énergie thermique et pour la produire on a besoin des capteurs pour capter l'énergie des rayons de soleil.

L'énergie solaire est la plus dominante de toutes les énergies renouvelables, elle est à l'origine de la quasi-totalité des sources d'énergies utilisées par l'homme. [1], [2]

I.2. énergie solaire :

L'énergie solaire provient, comme son nom l'indique, du soleil. L'énergie dérivée du soleil, l'exploitation directe de l'énergie solaire au moyen de capteurs relève de deux technologies bien distinctes : une qui produit des calories, c'est l'énergie solaire thermique, et l'autre qui produit de l'électricité c'est l'énergie solaire photovoltaïque. [3]

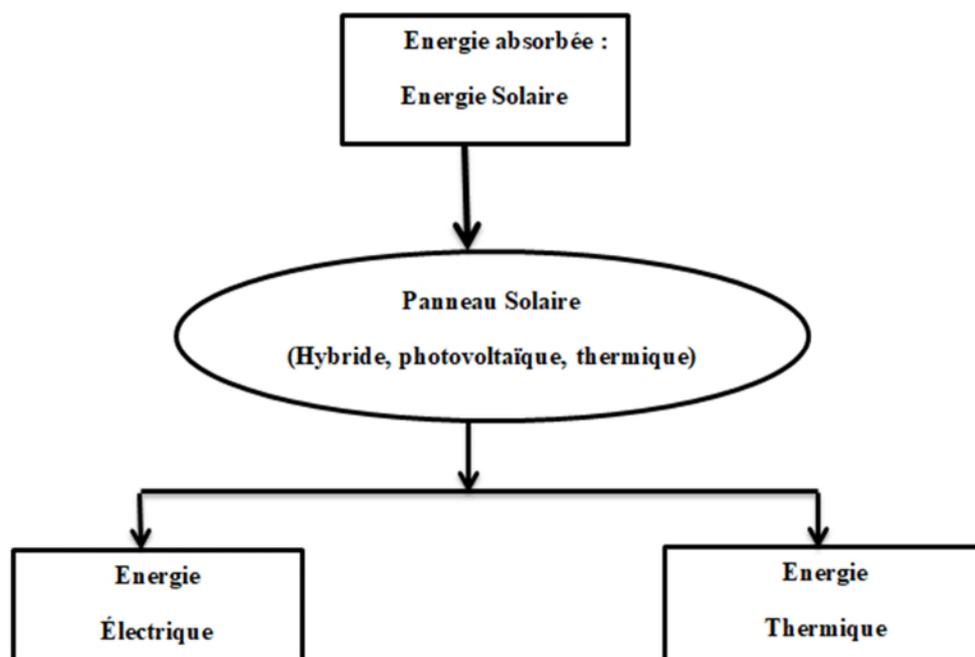


Fig. I.1 :L'énergie solaire.

Cette énergie solaire est réémise, pour faire simple, sous forme de rayonnement infrarouge que notre atmosphère retient en partie seulement grâce ou à cause des gaz à effet de serre (GES). Mais il ne faudrait pas que ceux-ci retiennent davantage ces IR, sous peine d'un réchauffement climatique catastrophique, et qui semble d'ailleurs déjà amorcé. [4]

I.3. Rayonnement solaire :

Les réactions thermonucléaires produites au cœur du soleil génèrent des rayonnements corpusculaire et électromagnétiques se propageant dans toutes les directions du vide inter sidéral avec une vitesse de 3.10^8 m/s et couvrant toutes les longueurs d'ondes depuis les rayons X et gamma jusqu'à R lointain. Ce pendant 99.9% de l'énergie est située entre 0.2 et $8\mu\text{m}$. [5]

On pourra supposer avec une approximation acceptable que le soleil rayonne comme un corps noir porté à une température de 5762°K dite température apparente du soleil ne correspondant pas à la réalité physique. [6]

- Un appareil reçoit 3 sortes de rayonnements (**Fig. I.2**) :

I.3.1. Rayonnement direct :

C'est le plus important quand le ciel est clair. Avant d'entrer dans l'atmosphère sa valeur varie de 1350 à 1450 watts/m^2 suite au fait que le soleil n'est pas toujours à la même distance de la terre. [7]

I.3.2. Rayonnement diffus :

Proviens des réflexions dans les masses d'air et dans les nuages pour atteindre le sol. La puissance est environ dix fois plus faible que le rayonnement direct, cela dépend de la capacité des nuages. [7]

I.3.3. Rayonnement réfléchi :

Sur le sol ou même sur le bâtiment porte le nom d'albédo, du latin *albus* : blanc, signifie que si le sol est clair, naturellement : sable sec, neige l'hiver, ou artificiellement : peinture blanche, surface métallique brillante, il renvoie une certaine part de l'énergie qu'il reçoit. [9]

➤ Le terme albédo signifie la fraction, exprimée en centième, de la lumière diffusée par la surface considérée, et ne signifie pas la lumière diffusée. Il n'y a donc pas de coefficient d'albédo ; l'albédo est lui-même le coefficient visé. [7]

$$w = \frac{\text{énergie réfléchi}}{\text{énergie reçue}} \quad (\text{I.1})$$

Ainsi pour un corps noir parfait, l'albédo est nul.

- Le rayonnement global (G) est la somme des rayonnements diffus et direct [8]:

$$G = G_{dir} + G_{dif} \quad (I.2)$$

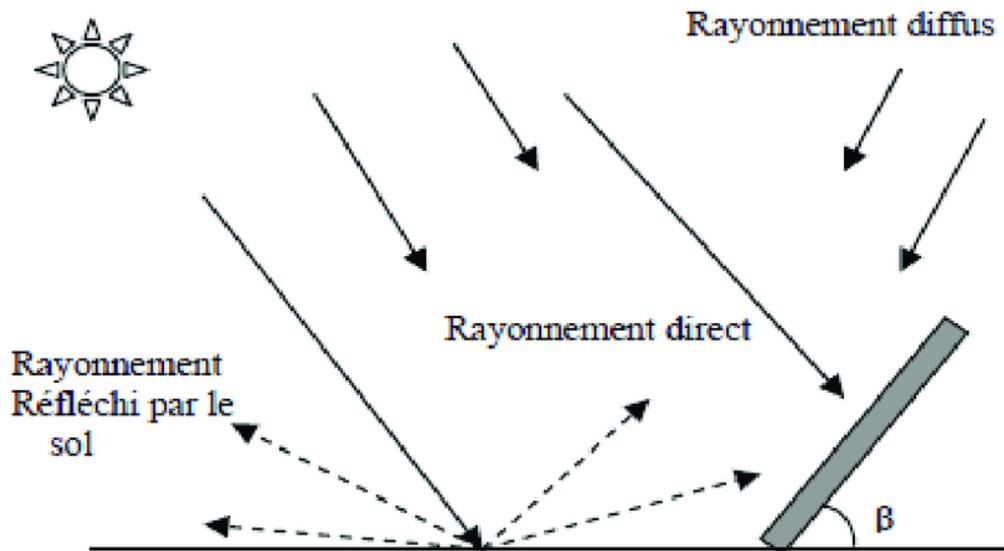


Fig.I.2 : les composants du Rayonnement solaire reçue par un plan incliné.

I.4. Notion du corps noir :

On appelle corps noir, un corps pour lequel : $\rho = 0$, $\alpha = 1$, $\tau = 0$. Un corps noir est donc un corps qui absorbera tout rayonnement incident le frappant, sans en réfléchir ni laisser échapper aucune fraction, et ceci quelles que soient les longueurs d'onde et les directions de propagation. De la même manière, un corps noir sera capable de rayonner dans chaque longueur d'onde le maximum d'énergie calorifique stockable théoriquement dans cette bande de fréquence à un niveau de température T déterminé.

Un tel corps, thermiquement idéal, n'existe pas dans la nature, pas plus que n'existe le fluide parfait totalement exempt de dissipation interne d'énergie lors de son mouvement.

Mais le concept va servir d'étalon de rayonnement. A partir de considérations thermodynamiques, il est possible de prévoir théoriquement le maximum d'énergie calorifique pouvant être rayonnée par la matière à chaque température de cette matière, et dans chaque longueur d'onde.

Pour chaque corps réel auquel s'intéresse l'ingénieur thermicien, on évaluera l'énergie qu'il peut rayonner, relativement à celle qu'émettrait un corps noir dans les mêmes conditions, à l'aide de coefficients appelés émissivités. [9]

I.5. Emission des corps :

Tout corps dont la température est supérieure au zéro absolu émet dans l'espace environnant un rayonnement dont l'énergie se répartit sur une région spectrale correspondant à un intervalle de longueur d'onde $\Delta\lambda$.

Le spectre solaire s'étendait de $0.2\mu\text{m}$ à $25\mu\text{m}$. En dehors de l'atmosphère la plus grande partie de l'énergie se situe sur la bande 0.2 à $4\mu\text{m}$, alors qu'au sol elle se place sur la bande 0.29 à $3\mu\text{m}$.

On définit le rayonnement thermique comme étant le rayonnement émis sur l'intervalle spectrale 10^{-1} à $100\mu\text{m}$, ce qui correspond à l'émission des corps aux températures que nous aurons à considérer. [10]

I.5.1. Emission du corps noir :

Le corps noir est, par définition, le corps absorbeur idéal, c'est -à-dire qu'il absorbe tout rayonnement incident. Il est constitué théoriquement d'une enceinte fermée présentant seulement un orifice de très petit diamètre ; pratiquement, une surface recouverte de noir de fumée représente une approximation assez bonne du corps noir.

Le spectre du corps noir est représenté par une courbe $M^0_{\lambda}=M^0(\lambda, T)$ ou M^0_{λ} est l'émittance monochromatique, c'est-à-dire la quantité d'énergie émise sur une bande de longueur d'onde unitaire par une surface émettrice d'aire unité et par seconde.

M^0_{λ} s'exprime donc en $\text{W}\cdot\text{m}^{-3}$ et est représentée par l'aire hachurée sur la courbe représentant le spectre.

Le spectre du corps noir varie avec la température, et en particulier le maximum de la courbe est déplacé. [10]

La quantité d'énergie (énergie thermique en général) rayonnée par unité de surface et unité de temps par un corps noir dans un demi-espace (angle solide de 2π stéradians) s'obtient par intégration de la courbe précédente : [10]

$$M^{\circ} = \int M^{\circ}_{\lambda} d\lambda \quad (\text{I.3})$$

La loi de PLANCK permet d'obtenir théoriquement la valeur de M^0 , relation qui constitue la loi de STEFAN : [12]

$$M^0 = \sigma \cdot T^4 \quad (\text{I.4})$$

I.5.2. Emission d'un corps quelconque :

L'énergie rayonnée par un corps quelconque (non noir) par unité de surface et par unité de temps a pour expression :

$$M = \sigma \cdot \varepsilon \cdot T^4 \quad (\text{I.5})$$

Avec :

ε : Est le facteur totale d'émission du corps qui dépend de la température de l'émetteur et de son état de surface (ε est fort pour les corps de couleur et de sombre et faible pour les corps de couleur claire).

I.6. Émissivité ε :

On définit les propriétés émissive des corps par rapport ou propriété émissive du corps noirs donne les mêmes conditions de température et de longueur d'onde et on les caractérisé à l'aide de coefficient appelé facteur d'émission ou émissivité. [9]

Ces coefficient monochromatique ou totaux sont définis par :

$$\varepsilon_{\lambda T} = \frac{M_{\lambda T}}{M_{0\lambda T}} \quad \text{et} \quad \varepsilon_T = \frac{M_T}{M_{0T}}$$

I.7. Les capteurs solaires :

Un capteur solaire ou panneau solaire est un élément d'une installation solaire – gratuite et disponible – destiné à recueillir l'énergie solaire pour le convertir en énergie thermique et le transférer à un fluide caloporteur (air, eau) ou en énergie électrique. Nous distinguons principalement deux types de capteurs solaires : le capteur solaire thermique (capteur cylindro-parabolique, capteur parabolique et capteur plan) et le capteur solaire photovoltaïque.

Dans les capteurs thermiques, le liquide circule dans des tubes soudés sur une plaque noire appelée absorber. Pour obtenir un meilleur rendement, l'ensemble est placé dans une boîte vitrée isolante afin d'obtenir une couche d'air isolante. Avec un bon ensoleillement, et si la température ambiante n'est pas trop basse, un simple réseau de tubes à ailettes peut constituer un panneau avec un bon rendement. L'absorber est chauffé par le rayonnement solaire et transmet sa chaleur à l'eau qui circule dans les tubes.

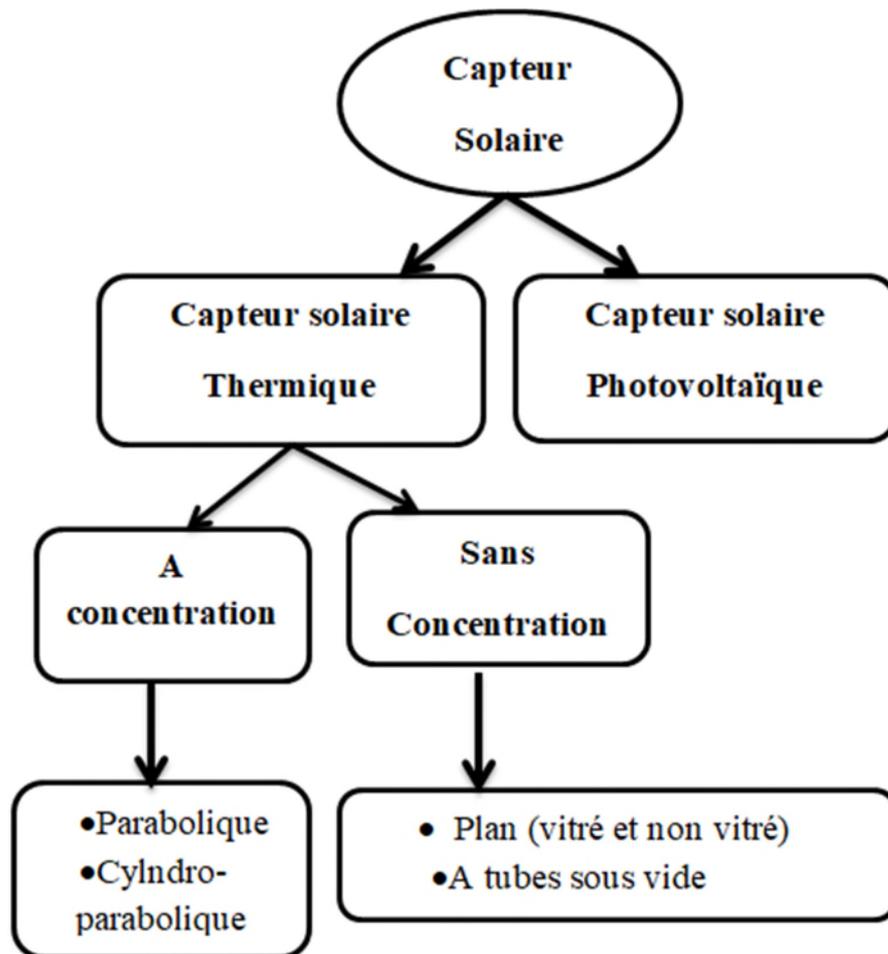


Fig. I.3 : Schéma des types de capteurs solaire.

I.8. Les capteurs solaires thermiques :

Il est constitué d'un panneau noir absorbant la chaleur du soleil pour la transmettre à de l'eau circulant dans le capteur solaire. Il existe principalement deux types de capteurs solaires thermiques. Le capteur plan le plus simple et le moins cher et le capteur a tubes sous vide ayant un meilleur rendement solaire car il récupère plus efficacement le rayonnement solaire.

Le rôle d'un capteur solaire thermique est de transformer le rayonnement qu'il reçoit en énergie calorifique utilisable, le plus souvent par l'intermédiaire d'un fluide caloporteur (eau, air).



Fig. I.4: Capteur solaire thermique.

I.9. Les différents types d'un capteur solaire thermique :

Il existe différents types de capteurs solaires thermiques. On peut les distinguer en fonction de leur type d'utilisation, de la nature de l'élément caloporteur utilisé et de la température atteinte.

- ✓ Ces capteurs peuvent être utilisés afin de répondre aux besoins d'une piscine (donc un capteur léger) jusqu'à répondre à ceux d'une centrale solaire.
- ✓ Le fluide caloporteur qu'ils utilisent peut être à l'état gazeux ou l'état liquide.

Aux quatre coins du monde, la plus part de ces capteurs sont utilisés afin de produire de l'eau chaude sanitaire (eau réchauffée utilisée à des fins domestiques) dans les maisons individuelles. Ces capteurs sont aussi utilisés dans le but de chauffer des bâtiments, des piscines ou afin de faire fonctionner des centrales de chauffage solaire.

I.9.1. Capteurs solaires plan (non concentration) :

Les capteurs à surfaces reçoivent directement le rayonnement solaire à partir du soleil, sans accent, et est efficace même quand le blocage de la lumière directe du soleil. [11] Le capteur plan est composé d'un absorbeur noir derrière un vitrage ou l'eau qui y circule récupère la chaleur captée du soleil.

I.9.1.1. Les capteurs plans vitrés :

C'est les capteurs munis d'une couverture transparente, ils sont les plus utilisés. [12] Ils sont constitués d'une plaque en métal noir absorbant le rayonnement solaire mise en contact avec les

tubes contenant le fluide caloporteur. A l'intérieur est placé l'absorbeur, 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. Un isolant résistant aux fortes températures est placé sous le tout pour garder la chaleur dans les tubes. Un vitrage recouvre les tubes pour les protéger et crée un effet de serre pour chauffer encore plus le fluide caloporteur. (Fig.I.5). Les températures souhaitées se situent entre 30°C et 70°C. 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).

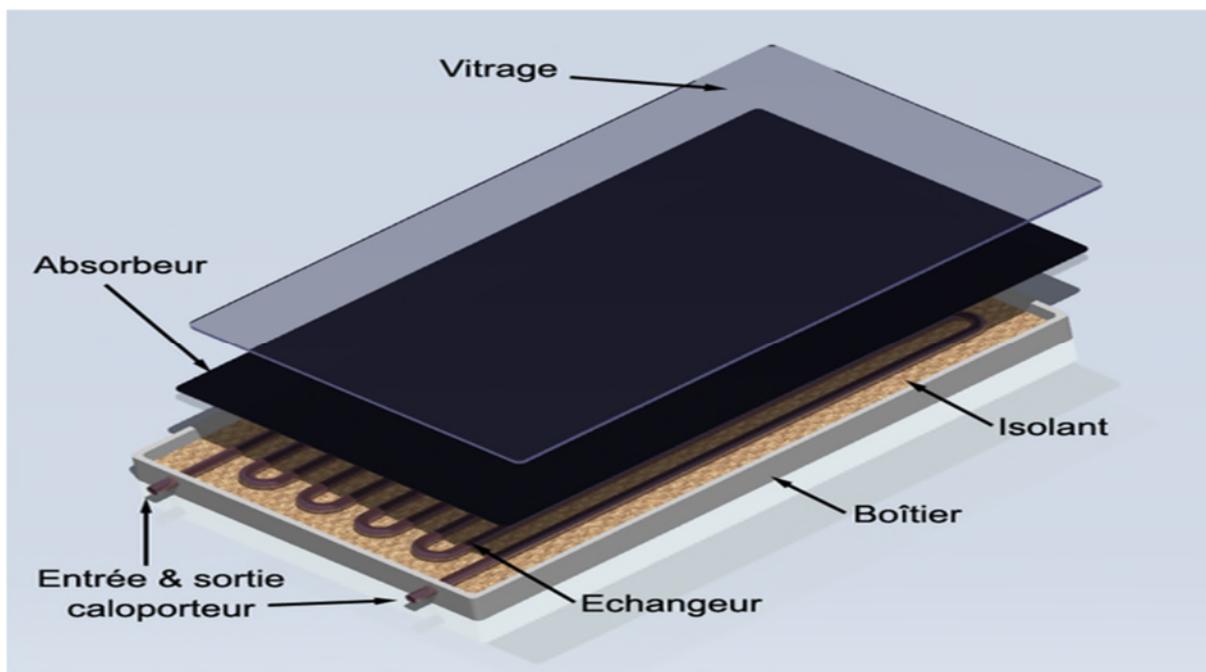


Fig.I.5: Capteur thermique plan vitré.

I.9.1.2. Les capteurs thermique plan non vitrés :

Egalement appelé « capteur moquette », il est constitué de réseau de tubes noirs, généralement en matière plastique souple de type élastomère, ce type de capteur est facile à intégrer, on peut le posé sur le sol ou sur la toiture. Le rendement du capteur moquette est très bon pour produire des températures proches de la température de l'air ambiant. [12] généralement utiliser pour le chauffage des piscines, moins coûteux, ils sont également moins performants et plus sujets à des dégradations puisqu'ils ne sont pas protégés par une vitre. La température de fonctionnement est généralement inférieure à 30°C. C'est le modèle le plus simple, le plus économique mais le moins performant. Il est généralement constitué d'une

simple plaque de métal ou de matière plastique (absorbeur) sur laquelle sont collés plusieurs tubes porteurs de fluide caloporteur.

➤ **Le fonctionnement d'un capteur thermique plan :**

Le principe de fonctionnement d'un capteur solaire plan est [13] :

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

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

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

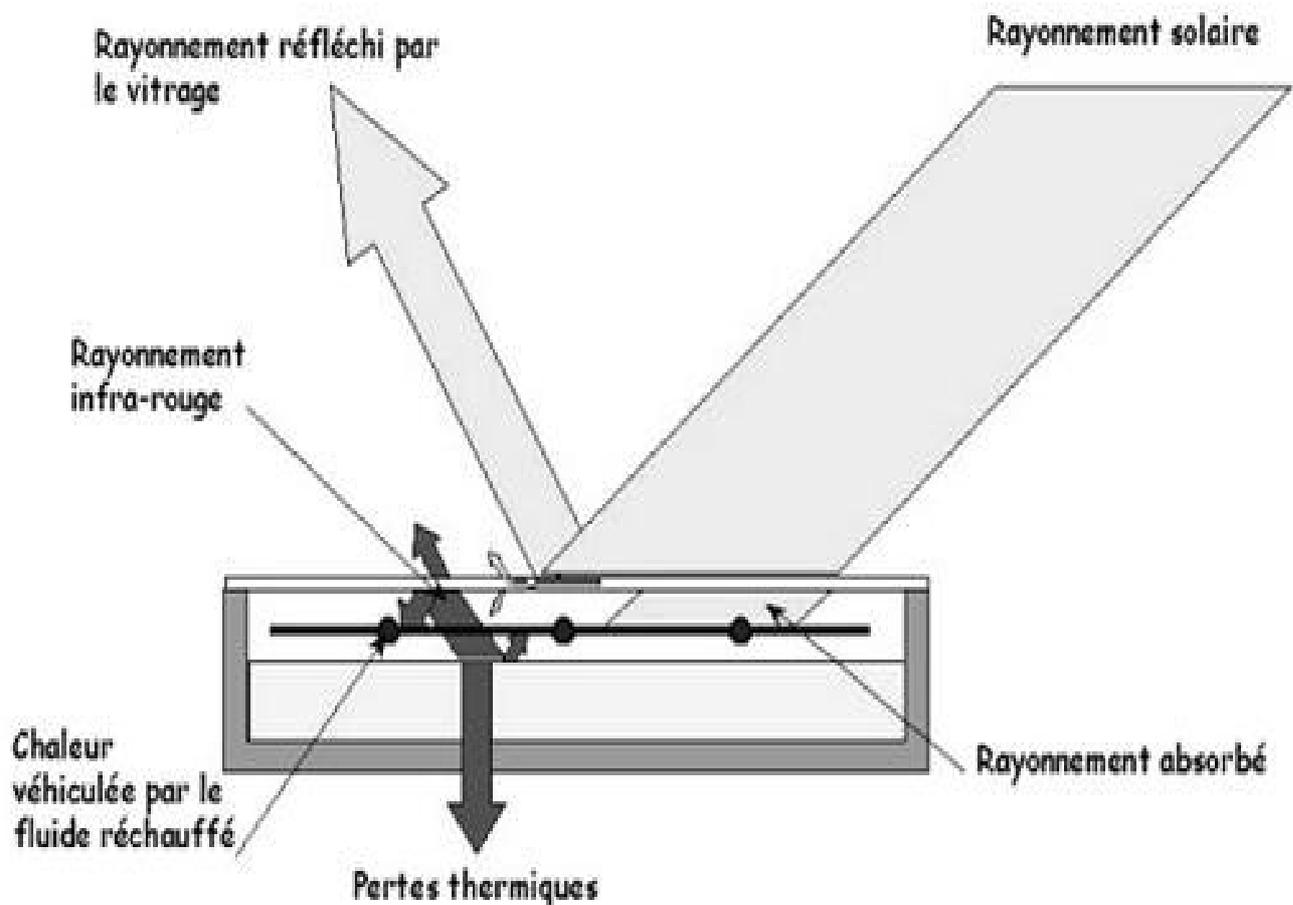


Fig. I.6 : Principe de Fonctionnement d'un capteur thermique plan.

I.9.2. Les capteurs à tubes sous vide :

Les capteurs solaires "sous vide" sont composés d'une série de tubes en verre transparents. Dans chaque tube il y a une plaque absorbante pour capter le rayonnement solaire et un échangeur pour favoriser le transfert de l'énergie thermique. Les tubes sont mis sous vide pour éviter les déperditions thermiques convectives de la plaque absorbante et la plaque absorbante reçoit un traitement sélectif pour empêcher le rayonnement à ce dissipé sous forme de grande longueur d'onde. Ainsi, on peut réaliser des capteurs solaires performants sans une isolation thermique rapportée ou un coffre de protection. La température de fonctionnement est très élevée supérieure à 100°C. [14]



Fig. I.7 : Capteur a tube sous vide.

I.10. Les composants d'un capteur solaire thermique 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 (fig.I.8).

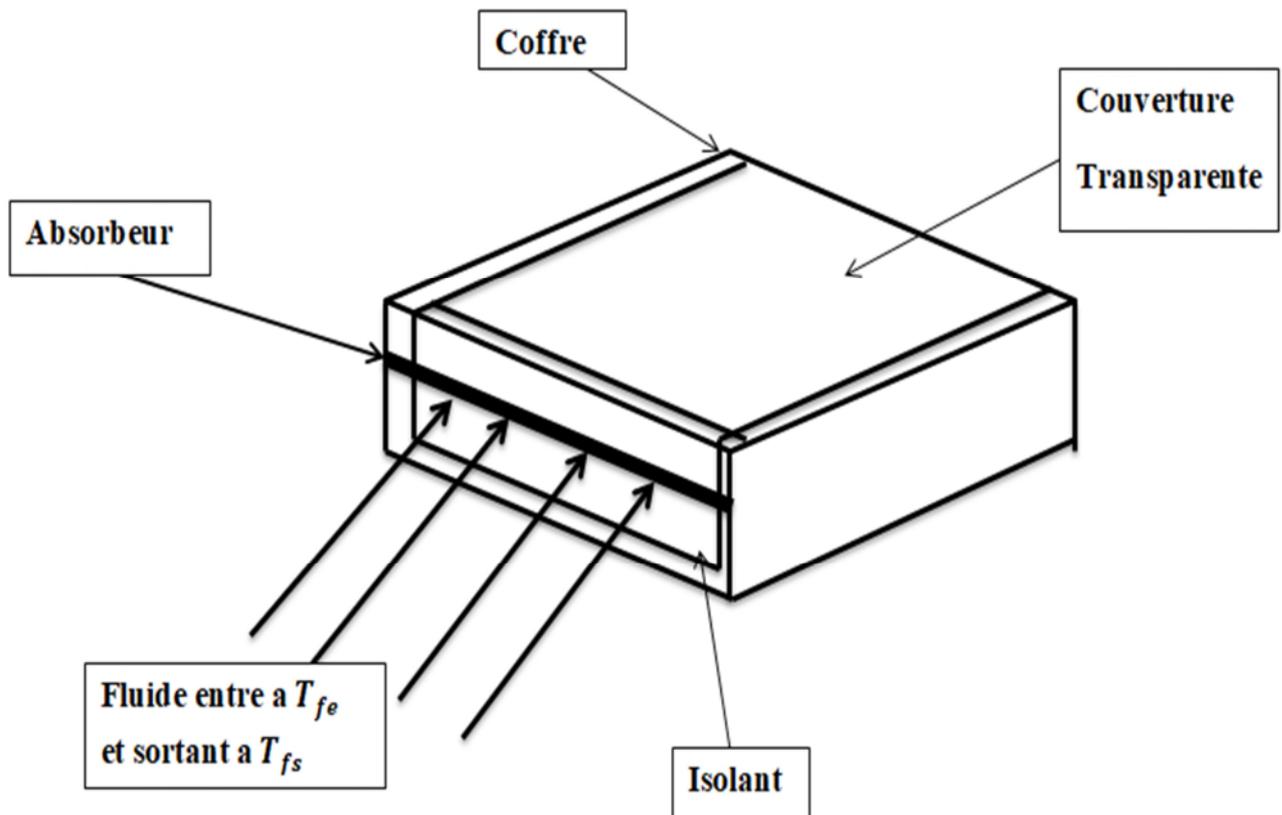


Fig. I.8 : Composants d'un capteur solaire plan.

a) Le coffre ou boîtier :

Il assure la protection à l'arrière du capteur et participe à sa rigidité. Les matériaux les plus utilisés, pour constituer le fond du coffre, sont le métal (tôle d'acier pré laquée ou aluminium) et les matériaux plastiques, Ils doivent présenter les caractéristiques suivantes : bonne tenue à la corrosion, faible prix de revient, transformation facile. [12]

b) L'absorbeur :

C'est le composant qui permet de transformer le rayonnement solaire en chaleur et de transférer l'énergie thermique ainsi produite à un fluide caloporteur , Le matériau le plus utilisé est le cuivre, car il possède une bonne tenue à la corrosion et sa conductivité thermique est élevée. L'absorbeur peut être considéré comme une juxtaposition d'ailettes. [12]

c) Le fluide caloporteur :

Pour évacuer la chaleur stockée par la plaque absorbante on utilise généralement comme fluide caloporteur soit de l'air, soit de l'eau.

Par rapport à l'eau, l'air présente les avantages suivants :

- L'air sec ne présente pas de problèmes de corrosion,
- Une fuite d'air est sans conséquence,
- Il n'est pas nécessaire d'utiliser un échangeur de chaleur dans le cas du chauffage de locaux,
- Le système à mettre en place est plus simple et plus fiable.

L'utilisation de l'air par rapport à l'eau entraîne les inconvénients suivants :

- L'air ne peut servir qu'au chauffage de locaux,
- Les conduites doivent avoir une grande section pour laisser passer un débit suffisant,
- Les transferts thermiques sont moins bons qu'avec l'eau.

Dans le cas de tuyauteries soudées sur la face arrière de la plaque absorbante, il faut prendre soin aux soudures afin de réduire le plus possible la résistance thermique de contact. [14]

d) L'isolation thermique

Permet d'éviter les déperditions par conduction (à l'arrière et sur les parties latérale de l'enveloppe du capteur). La mousse de polyuréthane est fréquemment utilisée, combiné parfois avec une couche de laine minérale en contact avec l'absorbeur. Pour des températures élevés on utilise que les mousses phénolique, peu courantes et chères, et les laines minérales (laine de verre et surtout laine de roche qui présente l'avantage de ne pas absorber l'humidité). [12]

e) La couverture transparente (généralement vitrage)

Elle a la double fonction de passer le maximum de rayonnement solaire et d'éviter le refroidissement de l'absorbeur, en réduisant les phénomènes de convection de l'air et en bloquant le rayonnement infrarouge (effet de serre).

Les matériaux les plus utilisés sont le verre trempé (pour réduire les risques d'accident en cas de bris). On notera également l'utilisation de vitrage à basse teneur en oxyde de fer, ces vitrages présentent des caractéristiques optiques légèrement supérieures aux vitrages standards. L'espace entre la couverture transparente et l'absorbeur se situe dans une fourchette de 25 à 40 mm Un espace plus important favoriserait les pertes thermiques par effet de convection. [12]

I.11. Mode de transfert dans les capteurs solaires :

Un capteur solaire met en jeu simultanément les trois modes de transfert thermique : Conduction, convection et rayonnement.

I.11.1. Transfert par conduction :

La conduction est le mode de transfert de chaleur caractérisé par la propagation de l'énergie thermique dans un milieu sans déplacement de matière, La loi correspondant au processus de la conduction est la loi de Fourier donnée par la relation [15] :

$$\Phi = -\lambda \cdot S \cdot \overrightarrow{\text{grad}} T \quad (\text{I.6})$$

❖ Dans le capteur solaire plan les échanges par conduction existent principalement entre :

- Les faces supérieures et inférieures de la vitre.
- Les faces supérieures et inférieures de l'isolant.
- L'absorbeur et l'isolant.

I.11.2. Transfert par convection :

La convection est un transport de matière à des mouvements macroscopiques. [16]

On distingue deux types de convection :

- La convection naturelle (libre) : où le mouvement du fluide est dû à l'action simultanée des différences de températures qui existent dans le milieu et d'un champ de forces massiques. [8]
- La convection forcée : où le mouvement du fluide est induit par un moyen mécanique (pompes, ventilateur, etc...). [8]

Le transfert thermique convectif est régi par la loi de Newton [16]:

$$\Phi = h \cdot S \cdot (T_p - T_f) \quad (\text{I.7})$$

❖ Dans un capteur plan l'échange par convection s'effectue entre :

- La vitre et l'ambiance, par convection libre ou forcée par le vent.
- La vitre et la plaque de l'absorbeur par convection libre.
- Le tube et le fluide par convection libre.
- Entre le fluide et l'isolant par convection libre.

□ Entre l'isolant et l'ambiance par convection libre ou forcée par le vent.

I.11.3. Transfert par rayonnement :

Le transfert de chaleur par rayonnement a 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. [5]

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

$$\Phi = \varepsilon \cdot S \cdot \sigma \cdot (T_p^4 - T_f^4) \quad (\text{I.8})$$

❖ Dans un capteur solaire plan le transfert par rayonnement s'effectue entre :

- La vitre et l'absorbeur.
- La vitre et le ciel.
- L'isolant et le sol.

I.12. Conclusion :

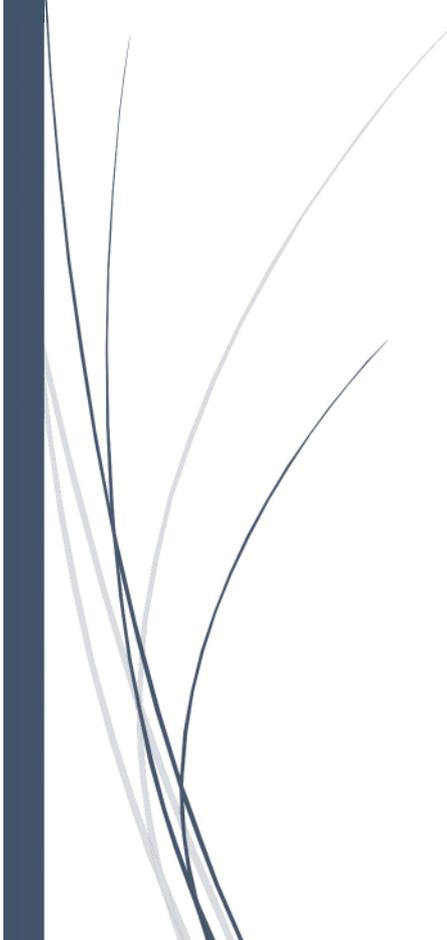
A la lumière de cette étude technologique et environnementale, nous pouvons conclure que les énergies solaires thermiques et photovoltaïques sont à même de renouveler les procédés de production d'énergie actuels. Cependant, du fait de sa sous-utilisation, l'énergie solaire peine encore à s'imposer au sein de la production énergétique mondiale.

Dans ce chapitre, nous avons fait une étude sur l'énergie solaire, y compris leur utilisation dans le domaine de la production d'énergie thermique et le chauffage de l'eau et les chauffages des bâtiments ainsi que leur utilisation dans la production d'électricité. Et l'élément le plus important de l'exploitation de l'énergie solaire qui est le capteur solaire. Cette partie est divisée essentiellement en deux, au début on a parlé du principe de fonctionnement d'un capteur solaire où nous avons mis un rappel sur les différents modes de transfert de chaleur dans un capteur solaire, à la fin nous avons cité les différents types de capteurs solaires.



Chapitre II

Bilan thermique
d'un capteur
solaire thermique
plan.



II.1. Introduction :

Le rendement d'un capteur solaire plan en régime permanent, appelé également rendement instantané peut être évalué expérimentalement par deux méthodes, à savoir :

- La méthode calorimétrique.
- La méthode du bilan thermique.

Mais compte tenu de la faible précision de la première citée, c'est généralement la seconde qui est utilisée.

Pour ça nous devons établir les équations mathématiques et le bilan thermique qui régissent les phénomènes thermiques dans les capteurs solaires plans.

Dans ce deuxième chapitre on s'intéresse à :

- le bilan énergétique au niveau du capteur.
- Formuler des hypothèses pour simplifier nos calculs.
- Déterminer les différents coefficients des transferts thermiques ainsi que le coefficient d'échange global.
- Déterminer la puissance utile et le rendement thermique d'un capteur solaire plan.

II.2. Bilan énergétique du capteur :

Soit φ_{sa} l'énergie solaire absorbée par un capteur, une partie de celle-ci est récupérée par le fluide caloporteur c'est l'énergie utile φ_u . Cette énergie peut être directement utilisée ou bien transférée vers un système de stockage (ballon d'eau chaude par exemple).

Un capteur solaire est aussi 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 φ_p .

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 nécessaire à cette montée en température. Cette énergie notée φ_{st} , dépend de l'inertie thermique de l'installation (l'énergie stockée dans le capteur). Ainsi le bilan thermique global s'écrit [1]:

$$\varphi_{sa} = \varphi_u + \varphi_p + \varphi_{st} \quad (\text{II.1})$$

II.2.1. Hypothèses :

Pour simplifier notre étude, un certain nombre d'hypothèses ont été considérées [17]:

1. La surface du capteur est uniformément éclairée.
2. Le ciel est considéré comme un corps noir à la température T_{ciel} .

3. Chacun des éléments du capteur soit à une température homogène.
4. Régime permanent.
5. Capteur à inertie thermique négligeable (faibles masse des composants et chaleurs Spécifiques).
6. L'effet de dépôt de la poussière et les masques sur le capteur sont négligeables.
7. Ecoulement de chaleur unidimensionnel.
8. La couverture et l'absorbeur émettent comme des corps noir ($\epsilon = 1$).
9. En dehors des émissions radioactives on observe aussi les pertes convectives vers l'extérieur (h_e) et entre l'absorbeur et la couverture vers l'intérieure (h_i) ainsi que les pertes au travers de l'isolant (λi).

❖ Les hypothèses 4 et 5 font que le flux stocké dans le capteur est négligeable,

$\varphi_{st} = 0$, et donc l'équation du bilan devient :

$$\varphi_{sa} = \varphi_u + \varphi_p \quad (\text{II.2})$$

Sachant que, l'énergie solaire absorbée par l'absorbeur φ_{sa} vaut :

$$\varphi_{sa} = \tau_c \cdot \alpha_p \cdot ES \quad (\text{II.3})$$

Dans le cas où le fluide caloporteur ne subit pas de changement d'état le flux utiles' écrit :

$$\varphi_u = q_{cf}(T_{fs} - T_{fe}) \quad (\text{II.4})$$

Les déperditions thermiques du capteur sont mises sous la forme :

$$\varphi_p = U_G \cdot S(T_{mp} - T_a) \quad (\text{II.5})$$

Dans le cas d'un capteur plan, la température moyenne T_m calculée par :

$$T_m = \frac{3T_{fs} + T_{fe}}{4} + \Delta T \quad (\text{II.6})$$

L'énergie stockée dans le capteur s'écrit :

$$\varphi_{st} = M_e \cdot C_{eau} \cdot \frac{\partial T}{\partial t} \quad (\text{II.7})$$

II.2.2. Bilan thermique d'un capteur thermique plan à une seule couverture :

-

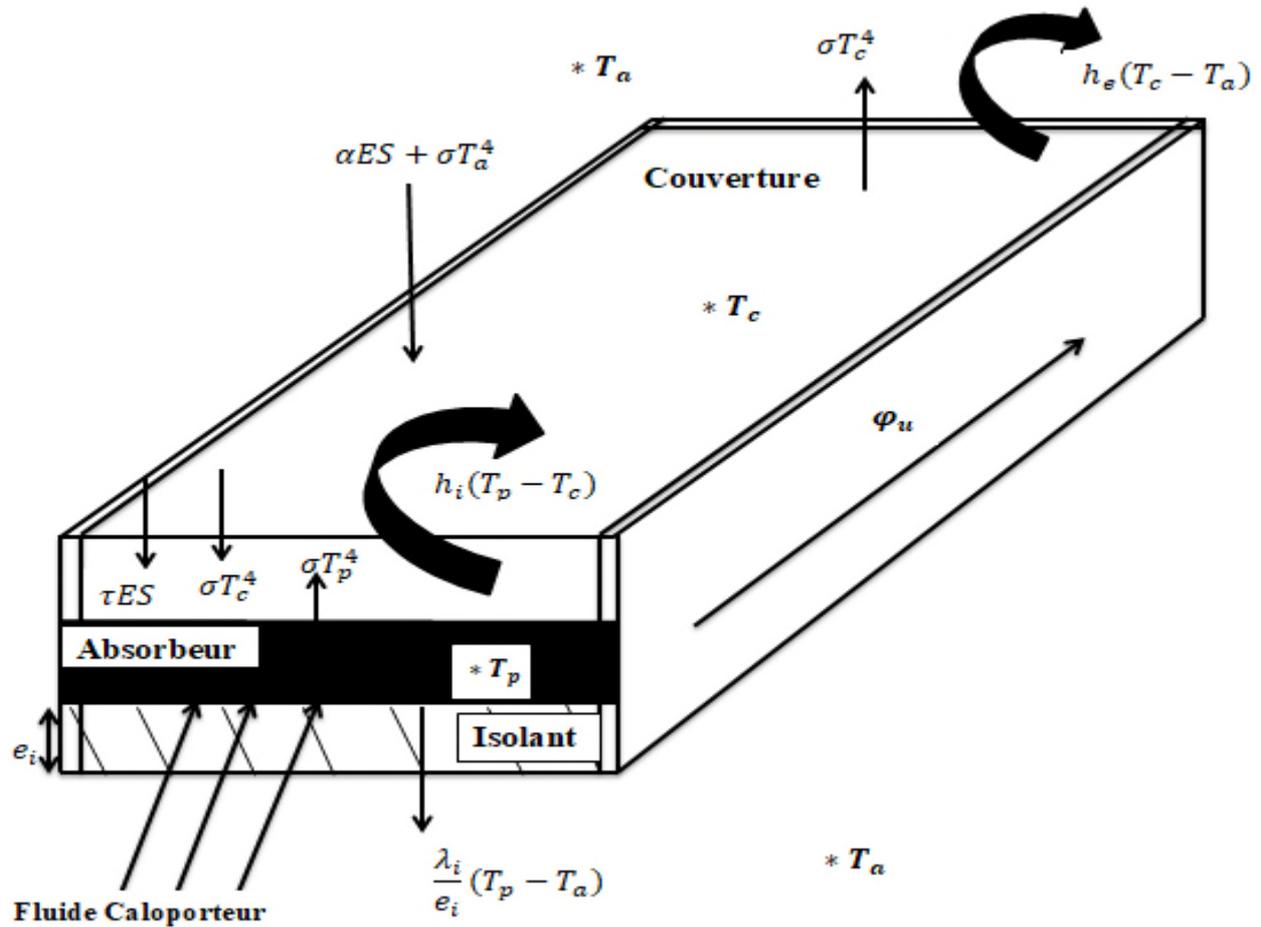


Fig. II.1: schéma de bilan thermique d'un capteur solaire plan.

II.2.2.1. Equation d'équilibre de la couverture :

$$\alpha ES + \sigma T_c^4 + \sigma T_p^4 + h_i (T_p - T_c) = 2 \cdot \sigma T_c^4 + h_e (T_c - T_a) \quad (\text{II.8})$$

II.2.2.2. Equation d'équilibre de l'absorbeur :

$$\tau ES + \sigma T_c^4 = \sigma T_p^4 + h_i (T_p - T_c) + \frac{\lambda_i}{e_i} (T_p - T_a) + \varphi_u \quad (\text{II.9})$$

On suppose que :

$$\alpha ES + hi (T_p - T_c) = he (T_c - T_a) \quad (\text{II.10})$$

On obtient ainsi la température d'équilibre de la couverture :

$$\begin{aligned} \sigma T_a^4 + \sigma T_p^4 &= 2. \sigma T_c^4 \\ T_c^4 &= \frac{1}{2} (T_a^4 + T_p^4) \\ T_c &= \sqrt[4]{\frac{1}{2} (T_p^4 + T_a^4)} \end{aligned} \quad (\text{II.11})$$

Effet, on obtenu l'équation de la puissance utile à partir de l'équation (II.9) :

$$\begin{aligned} \varphi_u &= \tau ES + \sigma T_c^4 - \sigma T_p^4 - hi (T_p - T_c) - \frac{\lambda_i}{e_i} (T_p - T_a) \\ \varphi_u &= \tau ES - \sigma (T_p^4 - T_c^4) - hi (T_p - T_c) - \frac{\lambda_i}{e_i} (T_p - T_a) \end{aligned} \quad (\text{II.12})$$

On remplace la formule (II.11) dans l'équation (II.12), on obtient l'équation finale de la puissance utile :

$$\varphi_u = \tau ES - \frac{\sigma}{2} (T_p^4 - T_a^4) - hi (T_p - T_c) - \frac{\lambda_i}{e_i} (T_p - T_a) \quad (\text{II.13})$$

II.2.2.3. Rendement d'un capteur solaire thermique plan :

Le rendement thermique est le facteur déterminant de la performance thermique de ce capteur, il est obtenu par le rapport entre la puissance utile φ_u sur l'éclairement solaire global incident ES sur le capteur. Et le rendement est toujours inférieur à 1 qui est déterminé par la formule suivante :

$$\eta = \frac{\varphi_u}{ES} \quad (\text{II.14})$$

A partir de la formule de la puissance utile on obtient l'équation de rendement pour une seule couverture :

$$\eta = \tau - \frac{1}{ES} \left[\frac{\sigma}{2} (T_p^4 - T_a^4) + hi \left(T_p - \sqrt[4]{\frac{1}{2} (T_p^4 + T_a^4)} \right) + \frac{\lambda_i}{e_i} (T_p - T_a) \right] \quad (\text{II.15})$$

Et pour multi couverture :

$$\eta = \tau^2 - \frac{1}{ES} \left[\frac{\sigma}{3} (T_p^4 - T_a^4) + hi \left(T_p - \sqrt[4]{\frac{1}{2} (T_p^4 + T_a^4)} \right) + \frac{\lambda_i}{e_i} (T_p - T_a) \right] \quad (\text{II.16})$$

Dans le cas de n couvertures et $\varepsilon \neq 1$:

$$\eta = \tau^n - \frac{1}{ES} \left[\frac{\sigma}{n+1} (\varepsilon T_p^4 - T_a^4) + hi \left(T_p - \sqrt[4]{\frac{1}{n+1} (n \cdot \varepsilon \cdot T_p^4 + T_a^4)} \right) + \frac{\lambda_i}{e_i} (T_p - T_a) \right] \quad (\text{II.17})$$

Si $T_p = T_a$, et

$\varepsilon = 1$ Corps noir ;

On obtient alors :

$$\eta = \tau \quad (\text{II.18})$$

II.2.3. Evaluation des déperditions thermiques du capteur :

L'analogie électrique liée aux différentes résistances thermiques lors des échanges de chaleur effectués sur les différents éléments du capteur peut être ainsi adoptée pour effectuer l'analyse thermique. Le schéma du circuit équivalent est ainsi illustré sur la **Fig. II.2**.

Les pertes thermiques sont dues à la différence de température entre les différents constituants du capteur solaire ainsi qu'avec le milieu ambiant. Elles se manifestent selon les trois modes de transfert de chaleur décrits précédemment. Elles se divisent en Trois catégories :

- Les pertes vers l'avant,
- Les pertes vers l'arrière,
- Les pertes latérales.

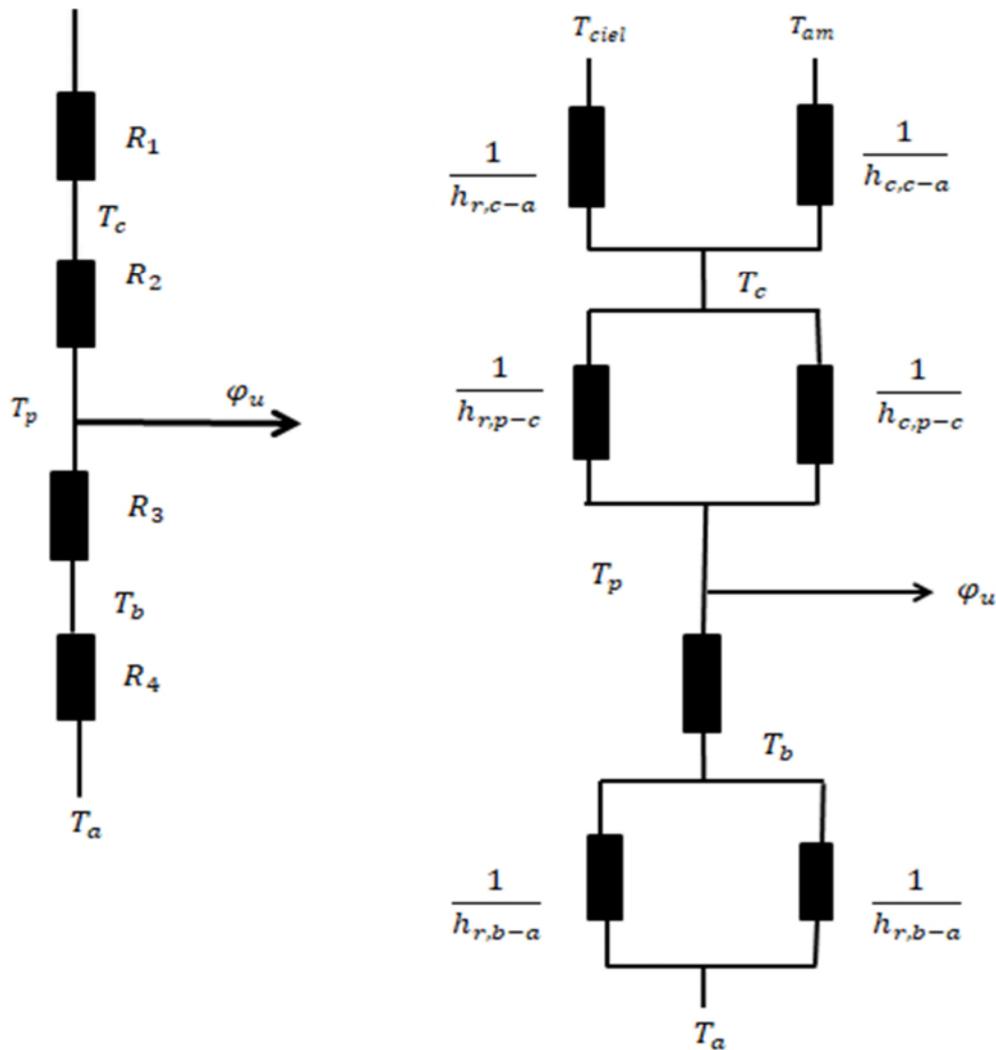


Fig. II.2: Circuit électrique équivalent relatif à un capteur solaire plan.

A partir du schéma électrique équivalent on définit :

❖ R_1 : Résistance thermique entre le milieu ambiant et la vitre, donner par :

$$R_1 = \frac{1}{(h_{c,c-a} + h_{r,c-ciel})} \quad (\text{II.19})$$

$h_{r,c-ciel}$: Coefficient d'échange par rayonnement entre la vitre et le ciel donné par :

$$h_{r,c-ciel} = \frac{\varepsilon \cdot \sigma (T_c^4 - T_{ciel}^4)}{(T_c - T_{am})} \quad (\text{II.20})$$

Avec :

T_{ciel} : Température du ciel est estimée par la relation suivante (relation de Swinbank [14]).

$$T_{ciel} = 0.0552 \cdot T_a^{1.5} \text{ } ^\circ K.$$

$h_{c,c-am}$: Coefficient d'échange par convection entre la vitre et l'ambient En 1954,

MACADAMS avait avancé la formule suivante [14]

$$h_{c,c-am} = 5.67 + 3.86.V_{vent} \quad (II.21)$$

V_{vent} : vitesse du vent

❖ R_2 : Résistance thermique entre la vitre et l'absorbeur, donner par :

$$R_2 = \frac{1}{h_{c,p-c} + h_{r,p-c}} \quad (II.22)$$

$h_{r,p-c}$: Coefficient de transfert de chaleur par rayonnement entre la vitre et l'absorbeur donnée par :

$$h_{r,p-c} = \frac{\sigma(T_p + T_c)(T_c^2 + T_p^2)}{\frac{1}{\varepsilon_p} + \frac{1}{\varepsilon_c} - 1} \quad (II.23)$$

Avec :

$\varepsilon_p = 0,95$: Emissivité de l'absorbeur.

$\varepsilon_c = 0,83$: Emissivité de la couverture.

$h_{c,p-c}$: Coefficient de transfert de chaleur par convection entre la vitre et l'absorbeur.

Pour déterminer le coefficient de convection $h_{c,p-c}$ les corrélations suivantes seront utilisées:

Le nombre de Nusselt est déterminé par la formule suivante [14] :

$$Nu = 1 + 1.44 \left[1 - \frac{1708(\sin 1.8\beta)^{1.6}}{Ra} \right] \left[1 - \frac{1708}{Ra \cos \beta} \right] + \left[\left(\frac{Ra \cdot \cos \beta}{5830} \right)^{1/3} - 1 \right] \quad (II.24)$$

Avec :

β : étant l'angle d'incidence du capteur,

Ra : Le nombre de Rayleigh est déterminé par la formule suivante [15] :

$$Ra = g \frac{(T_p - T_c)L_c^3}{T_m \cdot \nu_a \cdot \alpha_a} \quad (II.25)$$

Où :

L_c : Longueur caractéristique (espace entre l'absorbeur et la vitre).

T_m : La température moyenne de l'air entre l'absorbeur et la vitre, donnée par :

$$T_m = \frac{T_p + T_c}{2} \quad (II.26)$$

Elle permet d'évaluer les caractéristiques de l'air ($\rho_a, \mu_a, \lambda_a, C_{pa}$).

ν_a : La viscosité cinématique de l'air.

$$v_a = \frac{\mu_a}{\rho_a} \quad (\text{II.27})$$

α : la diffusivité thermique de l'air.

$$\alpha = \frac{\lambda_a}{\rho_a \cdot C_{pa}} \quad (\text{II.28})$$

$$Nu = \frac{h_{c,p-c} \cdot L_c}{\lambda_a} \quad (\text{II.29})$$

D'où on tire le coefficient de convection :

$$h_{c,p-c} = Nu \frac{\lambda_a}{L_c} \quad (\text{II.30})$$

Ainsi, Le coefficient de pertes à l'avant du capteur à la température ambiante est :

$$U_{av} = \frac{1}{R_1 + R_2} = \frac{1}{\frac{1}{h_{r,c-ciel} + h_{c,c-a}} + \frac{1}{h_{r,p-c} + h_{c,p-c}}} \quad (\text{II.31})$$

$$U_{av} = \frac{1}{\frac{1}{\frac{\varepsilon \cdot \sigma (T_c^4 - T_{ciel}^4)}{(T_c - T_{am})} + 5,67 + 3,86 \cdot V} + \frac{1}{\frac{\sigma (T_p^2 - T_c^2)(T_p + T_c)}{\frac{1}{\varepsilon_p} + \frac{1}{\varepsilon_c} - 1} + \frac{Nu \cdot \lambda_a}{L_c}}} \quad (\text{II.32})$$

❖ R_3 : Résistance thermique entre l'absorbeur et l'isolant,

Ainsi on définit la résistance équivalente entre l'absorbeur et l'isolant R_3 par :

$$R_3 = \frac{e_i}{\lambda_i} \quad (\text{II.33})$$

Et la résistance à l'arrière du capteur donnée par :

$$R_{ar} = R_3 + R_4 \quad \text{Avec : } R_4 = 0$$

Le coefficient de transfert par conduction entre l'isolant et l'absorbeur est donné par :

$$U_{ar} = \frac{1}{R_{ar}} = \frac{1}{R_3 + R_4} = \frac{1}{R_3} = \frac{1}{\frac{\lambda_i}{e_i}} = \frac{\lambda_i}{e_i} \quad (\text{II.34})$$

❖ R_4 : Résistance thermique entre l'isolant et le milieu ambiant.

Si l'on suppose que toutes les pertes se font vers une température T_{am} (voir hypothèse Simplificatrice numéro 6), alors en sommant les coefficients de pertes avant, latérales et arrière on obtient le coefficient de pertes globales U_G :

$$U_G = U_{av} + U_{ar} + U_{lat} \quad (\text{II.35})$$

Et le coefficient de pertes par les faces latérales U_{lat} donner par:

$$U_{lat} = \frac{\lambda_i}{e_{is,lat}} \cdot \frac{A_{lat}}{A_c} \quad (\text{II. 36})$$

Donc la somme des trois coefficients, qui sont les trois équations(II.32), (II. 34) et (II. 36) on obtient le coefficient de pertes thermique global vers l'extérieur :

$$U_G = \frac{1}{\frac{1}{\frac{\varepsilon \cdot \sigma (T_c^4 - T_{ciel}^4)}{(T_c - T_{am})} + 5,67 + 3,86 \cdot V} + \frac{1}{\frac{\sigma (T_p^2 - T_c^2)(T_p + T_c)}{\frac{1}{\varepsilon_p} + \frac{1}{\varepsilon_c} - 1} + \frac{Nu \cdot \lambda a}{Lc}}} + \frac{\lambda_i}{e_i} + \frac{\lambda_i}{e_{is,lat}} \cdot \frac{A_{lat}}{A_c} \quad (\text{II. 37})$$

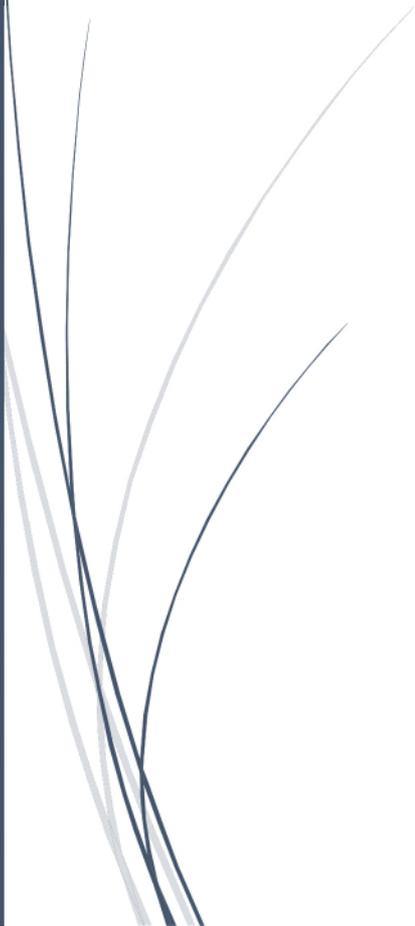
II.3.Conclusion :

Le capteur solaire est un élément de base dans une installation solaire thermique. Le dimensionnement de cette installation passe systématiquement au dimensionnement de différents éléments de cette dernière. Ces calculs peuvent être classé en deux grande catégories : un calcul thermique pour estimer les performances thermiques de l'installation et un calcul hydraulique pour estimer les pertes de charges dans le circuit de l'installation.



Chapitre III

Etude des performances D'un capteur solaire thermique plan



III.1.Introduction :

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

L'amélioration des performances thermiques des capteurs solaires plans repose sur plusieurs techniques différentes.

Dans cette partie du mémoire, nous étudierons l'effet des paramètres influents sur le rendement instantané du capteur solaire en régimes permanent et transitoire, à ce dernier nous accorderons un intérêt particulier à cause de son caractère réaliste.

III.2.Etude des performances d'un capteur solaire plan en régime permanent :

Dans ce qui suit, on va l'exploiter afin d'étudier l'influence de quelques paramètres sur les performances d'un capteur solaire, ce qui constitue un outil commode pour l'étude de conception des capteurs solaire.

- Dans cette étude nous allons utiliser la formule suivante :

$$\eta = \tau^n - \frac{1}{ES} \left[\frac{\sigma}{n+1} (\varepsilon T_p^4 - T_a^4) + h_i \left(T_p - \sqrt[4]{\frac{1}{n+1} (n \cdot \varepsilon \cdot T_p^4 + T_a^4)} \right) + \frac{\lambda_i}{e_i} (T_p - T_a) \right] \quad (\text{II. 17})$$

III.2.1.Les différents paramètres d'un capteur :

a) Paramètres externes :

- Paramètres d'ensoleillement : éclairement énergétique du au rayonne soleil et à la durée d'insolation.
- la température extérieure.
- la vitesse du vent sur le capteur

b) Paramètres internes :

- Paramètres de position : l'inclinaison et l'orientation.
- Dimensionnement du capteur : L'épaisseur, la longueur, la largeur, et la surface réceptrice.

- La section de passage du fluide.

III.2.2. Influence des quelques paramètres :

III.2.2.1. Influence de l'épaisseur de l'isolant :

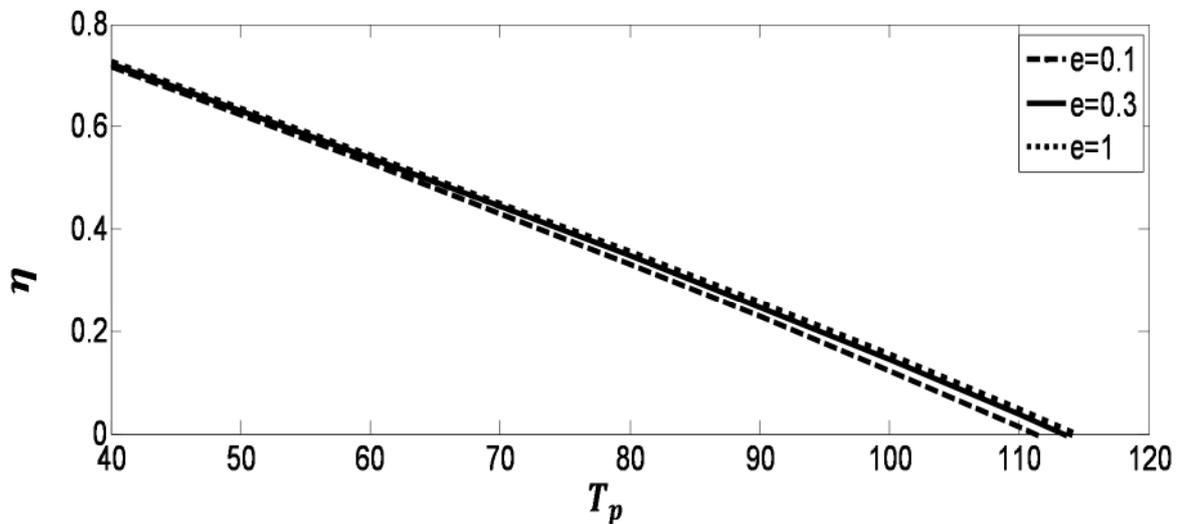


Fig.III.1: Influence de l'épaisseur de l'isolant sur le rendement instantané.

La **Fig.III.1**, montre l'influence de l'épaisseur de l'isolant sur le rendement instantané du capteur. On constate que plus l'épaisseur est grande plus le rendement est élevé.

En effet, plus on augmente l'épaisseur de l'isolant plus les pertes à l'arrière du capteur sont faibles et donc un rendement meilleur.

Toutefois, une optimisation de cette épaisseur est nécessaire pour avoir un meilleur compromis rendement.

III.2.2.2. Influence de la température ambiante :

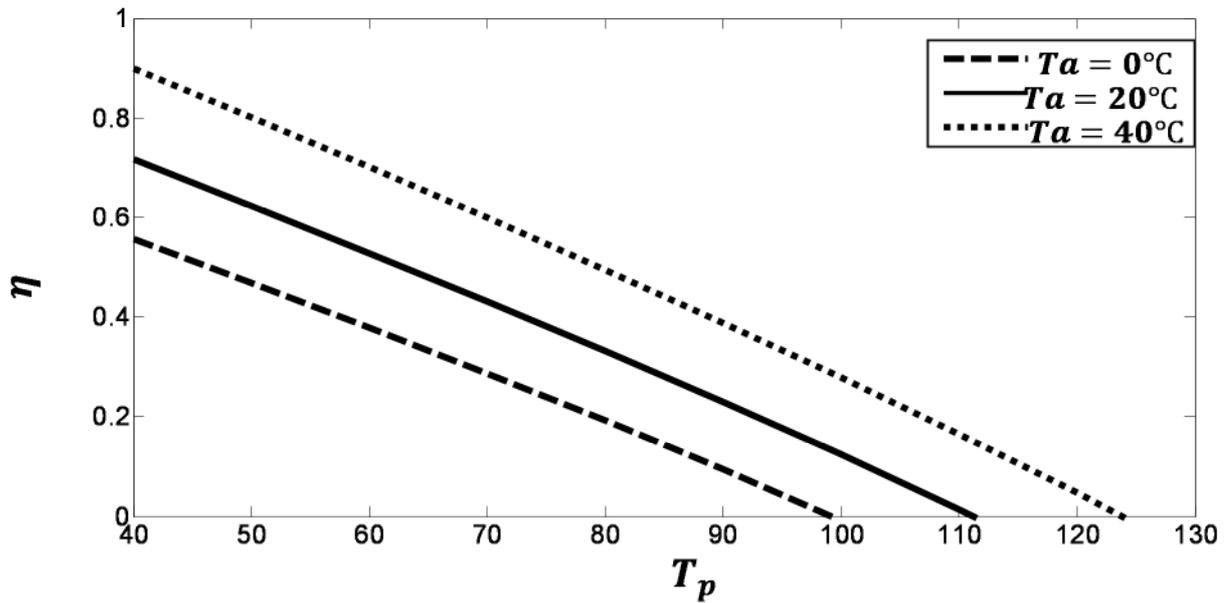


Fig. III.2: Influence de température ambiante sur le rendement instantané.

La Fig. III.2, on constate une variation linéaire décroissante du rendement instantané avec la température ambiante. En effet, une température ambiante élevée conduit à un écart réduit entre la température du fluide caloporteur et celle de l'ambiance, Par conséquent cela se traduit par une diminution des déperditions thermique et ce qui conduit à un rendement plus élevé.

Il est aisé de remarquer que L'allure décroissante de la courbe de variation du rendement instantané du capteur en fonction de la température ambiante. En effet, un abaissement de la température ambiante conduit à une diminution des températures des composants du capteur et par conséquent à un rendement faible, et lorsqu'on augmente les températures ambiante avec des basses températures d'absorbeur le rendement élevé.

III.2.2.3. Influence de coefficient d'échange intérieur :

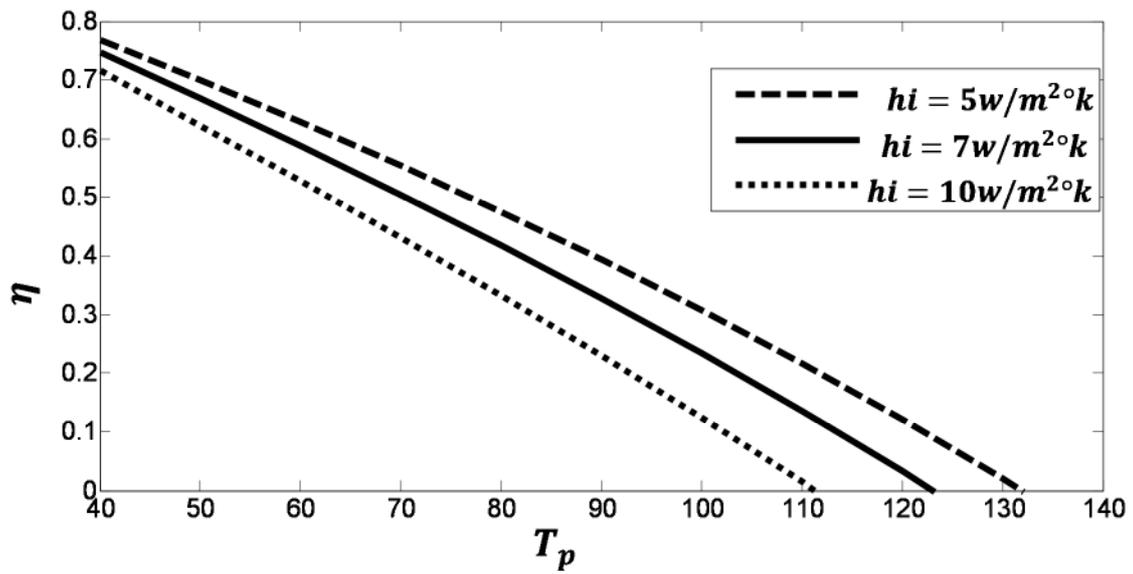


Fig.III.3: Influence de coefficient d'échange intérieur sur le rendement instantané.

D'après la Fig. III.3, le rendement instantané du capteur est une fonction décroissante avec le coefficient d'échange intérieur, plus le coefficient d'échange intérieur est diminué plus le rendement est élevé.

Toute fois une optimisation de ce coefficient d'échange est nécessaire pour avoir un meilleur compromis rendement.

III.2.2.4. Influence de l'éclairement solaire :

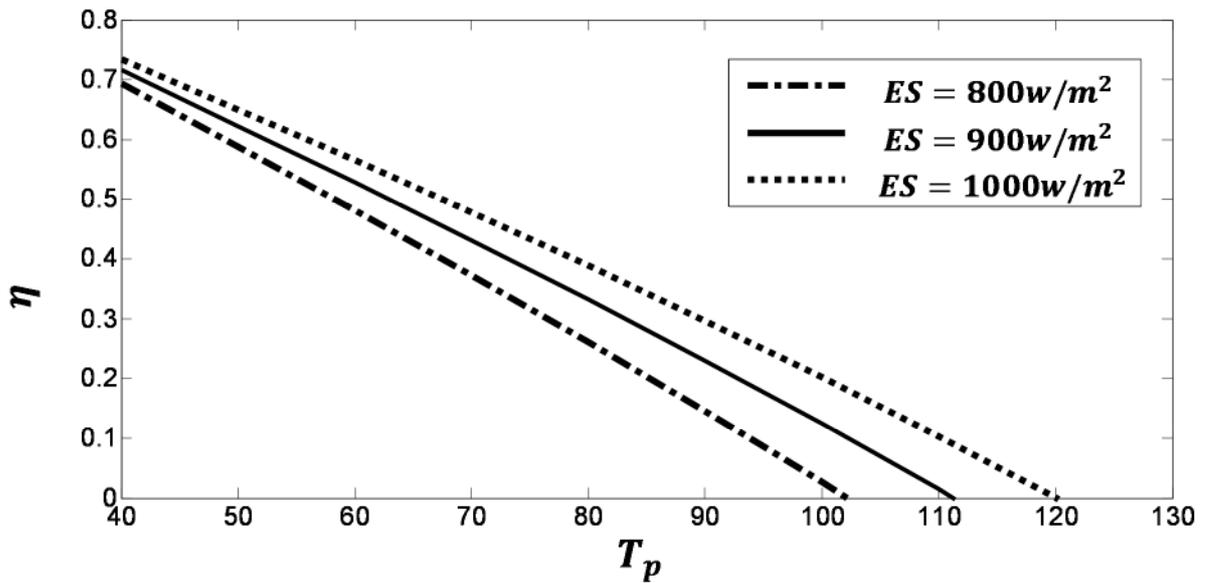


Fig. III.4: Influence de l'éclairement solaire sur le rendement instantané.

D'après la Fig. III.4, le rendement instantané du capteur est une fonction décroissante avec l'éclairement solaire, plus l'éclairement est augmenté plus le rendement est meilleur.

III.2.2.5. Influence de Facteur de transmission de la couverture transparente :

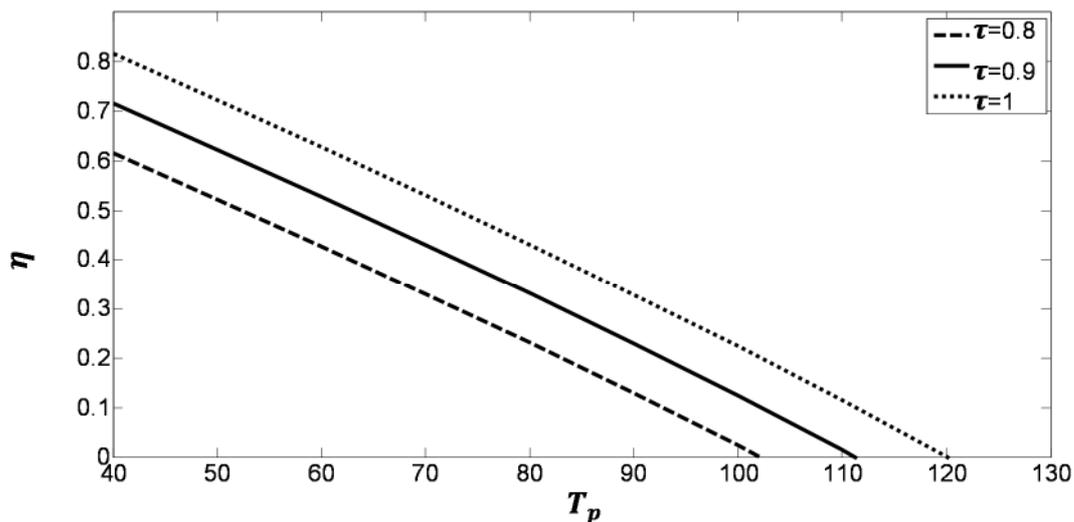


Fig. III.5: Influence de Facteur de transmission sur le rendement instantané.

D'après la **Fig. III.5**, le rendement instantané du capteur est une fonction décroissante avec le Facteur de transmission, plus le Facteur de transmission est augmenté plus le rendement est élever.

Toute fois une optimisation de ce facteur de transmission est nécessaire pour avoir un meilleur compromis rendement.

III.2.2.6. Influence de conductivité thermique de l'isolant :

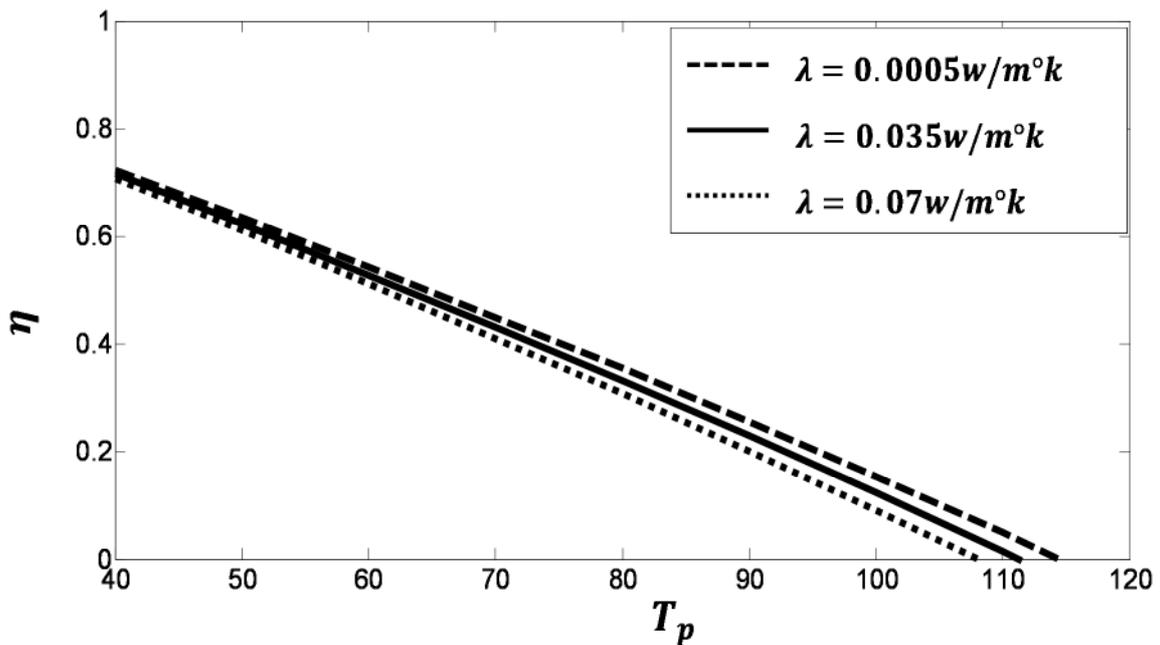


Fig. III.6: Influence de Conductivité thermique sur le rendement instantané.

D'après la **Fig. III.6**, le rendement instantané du capteur est une fonction décroissante avec Conductivité thermique, plus la Conductivité thermique est diminué plus le rendement est meilleur.

III.2.2.7. Influence du nombre de couverture :

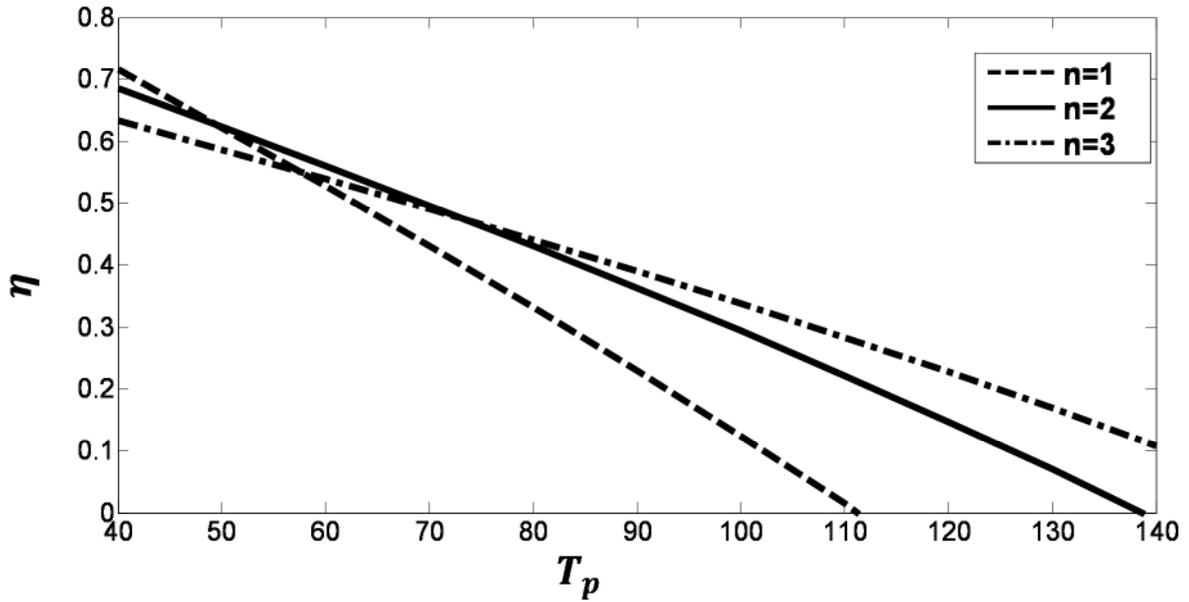


Fig. III.7: Influence de nombre de couverture sur le rendement instantané.

D'après la Fig. III.7, on constate que la variation du rendement instantané est liée aux nombre de couverture utilisés.

En effet, les dispositifs solaires avec multi couverture ont un rendement moins que celles d'une seule couverture à des basses températures d'absorbeur. Plus on diminue le nombre de couverture plus on a un rendement meilleur. Cela s'explique par l'effet de serre créé par la couverture (moins de pertes thermiques vers l'avant du capteur).

A partir des résultats obtenus, nous pouvons dire qu'un capteur plan munit d'une seule couverture conduit le système à acquérir de meilleures performances thermiques que celui munit des plusieurs couverture. Ce qui s'explique simplement que à haute température les capteurs avec des trois couverture ont un rendement élevé que celles de multi couverture, donc le rendement est meilleur lorsque nous ajoutons plus des couverture plus on a un meilleur rendement.

Toute fois une optimisation de nombre de couverture est très nécessaire pour avoir un meilleur compromis rendement.

III.3.Conclusion

Le but de cette étude est d'étudier et d'analyser l'influence de quelques paramètres sur les performances d'un capteur solaire thermique. Pour ce faire, on a étudié le fonctionnement des capteurs solaires où nous avons fait un calcul numérique pour obtenir les variations du rendement en fonction de température d'absorbeur.

Les résultats obtenus sont appliqués à des capteurs solaires plans et ils nous ont permis de tirer les conclusions suivantes :

Pour avoir un bon rendement il faut :

- Maintenir un faible coefficient d'échange intérieur pour meilleur rendement.
- Choisir une Conductivité thermique assez faible.
- L'augmentation de la température de l'ambiance favorise l'amélioration du rendement instantané du capteur solaire.
- Avoir un facteur de transmission faible pour améliorer le rendement d'un capteur solaire thermique.
- L'augmentation du l'éclairement solaire avec une seule couverture et l'épaisseur d'isolant constant diminue le rendement instantané
- L'augmentation de nombre de couverture influe négatif sur le rendement, alors nous allons obtenir un rendement assez faible à des basses températures et à haute températures on a obtenu un rendement élever lorsqu'on diminue nombre de couverture.

A thick, dark blue vertical bar is positioned on the left side of the page. From the bottom of this bar, several thin, light blue lines extend upwards and outwards, creating an abstract, grass-like or reed-like pattern.

Conclusion générale.

Conclusion générale

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

On a commencé par une présentation sur les énergies renouvelables qui à constituent donc une alternative aux énergies fossiles à plusieurs titres : Elles sont généralement moins perturbatrices de l'environnement, elles n'émettent pas de gaz à effet de serre et ne produisent pas de déchets. Elles sont inépuisables et elles autorisent une production décentralisée adaptée à la fois aux ressources et aux besoins locaux. Enfin elles offrent une importante indépendance énergétique. Les difficultés dues à la montée du prix du pétrole, à sa raréfaction, à l'impact écologique des énergies fossiles et les récents problèmes liés aux réacteurs nucléaires, prédisent une croissance des filières d'énergies renouvelables.

Après avoir donné un aspect général par des généralités sur les capteurs on a dressé un état d'art sur les capteurs solaire plans sujet de notre étude. Et les différents type d'un capteur solaire thermique plan et de déterminer les équations qui sont nécessaires pour toutes études des systèmes solaires.

Par la suite, notre intérêt est porté sur les divers échanges thermiques mis en jeu au sein de notre capteur afin de définir les équations régissant le comportement thermique de ce dernier en régime permanent.

Ainsi, sur le logiciel de calcul Matlab, on a d'abord commencé par une étude de l'influence des paramètres dont les performances de notre dispositif dépendent grandement.

Au final, nous avons exploités le capteur pour étudier l'influence des différents paramètres opérationnels sur le rendement instantané de ce dispositif, un outil commode pour une étude de conception.

Les résultats auxquels on est arrivé mettent en évidence l'influence des paramètres opérationnels sur le rendement instantané d'un capteur solaire plan à savoir les paramètres externes et les paramètres internes.

Il apparait clairement que le nombre de couverture influe grandement sur le rendement instantané de notre dispositif solaire de façon proportionnelle.

Conclusion générale

En effet, l'accroissement de la température ambiante améliore le rendement instantané d'un capteur solaire.

On note ainsi que : la vitre doit avoir un facteur de transmission élevé du rayonnement visible ainsi qu'une faible épaisseur afin de diminuer son inertie thermique.

L'emploi d'une plaque absorbante avec un facteur d'absorption et une conductivité thermique élevés améliore le rendement du capteur.

Le fluide de travail doit avoir d'une part, une conductivité thermique élevée.

L'isolant doit posséder une conductivité thermique très faible ainsi qu'une grande épaisseur afin de réduire les pertes thermiques du capteur.

Par ailleurs, un capteur est d'autant plus performant : qu'il fonctionne à une température d'entrée du fluide caloporteur proche de la température ambiante. . que l'éclairement est important.

Il apparait clairement que le rendement instantané est une fonction proportionnelle de l'irradiation solaire globale qui joue un rôle prépondérant. En outre, l'augmentation de la température de l'ambiance favorise l'amélioration du rendement instantané du capteur dans le régime étudié.

Ces résultats montrent également l'influence des propriétés des différents composants du capteur sur son rendement instantané.

Bibliographie

[1] : www.google.com mots clés capteurs solaires plans

J. Bernard. Energie solaire calculs et optimisation, Ellipse Edition Marketing. (2004)

[2] : C, Vauge. Introduction générale sur les différentes énergies renouvelables, Techniques de L'Ingénieur, B263. (1982).

[3] : Bernard Jacques, énergie solaire, Génie énergétique, (2004).

[4] : Guy Isabel, Les capteurs solaire à air (Réaliser – Installer-Gérer), (2012).

[5] : A, Sfeir; G, Guarracino. Ingénierie des systèmes solaires, Technique et documentation, Paris. (1981).

[6] : Ch, Perrin de Brichambaut;C, Vauge. Le gisement solaire, Technique et Documentation, Paris. (1982).

[7] : J.L.PERRIER, Energie solaire et hydrogène (Etat actuel des applications), (1980).

[8] : P, H, Communay. Héliothermique : le gisement solaire, méthodes et calculs, Groupe de Et d'Édition, France. (2002).

[9] : HASSANI Samir, MENDIL Fatsah, "Étude et dimensionnement d'une centrale thermo-solaire (CEVITAL), MASTER En Génie Mécanique, Option : Energétique, Université A.MIRA DE BEJAIA, 2009/2010.

[10] : ROGER BERNARD, GILBERT MENGUY, MARCEL SCHWARTZ, " Le rayonnement solaire conversion thermique et applications", 2^e édition augmentée, Technique et Documentation Lavoisier. 11, rue Lavoisier, F 75384 Paris Cedex 08, 1980 ISBN 2-85206-076-0

[11] : S, A, Hakem; N, Kasbadji-Merzouk; M, Merzouk. Performances journalières d'un chauffe- eau solaire, Revue des Energies Renouvelables, p 153-162. (2008).

[12] : BENBOUZA Chaouki. «Production et performance des capteurs hybrides (PV/T) à eau intégrés dans le bâtiment -cas de l'Algérie- », Magistère En Génie Climatique, Option : THERMIQUE DU BATIMENT ET REFRIGERATION, l'Université de Constantine, (2014).

[13] : J, A, Duffie;W, A, Beckman.Solarengine of thermal processus, John Wiley and Sons. (1980).

Bibliographie

[14] : Aghilas BRAHIML« Etude de performances d'un capteur solaire plan a eau», mémoire fin d'étude dirigé par l'Université de Lorraine (France), page 206, (2016).

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

[16] : J, P, Petit. Techniques de l'ingénieur, notions de transferts thermiques par convection, A1540. (1979).

[17] : J. A. Duffie, W. A. Beckman. Solar engineering of thermal processes, John Wiley and Sons. (1980).

Résumé

L'énergie solaire est la source la plus importante d'énergie renouvelable, pour cela l'exploitation de l'énergie solaire en Algérie est un grand axe de recherche qui connaît de considérable développement cette dernière décennie. Actuellement, il existe deux voies principales d'exploitation de l'énergie solaire : le solaire photovoltaïque qui transforme directement le rayonnement en électricité et le solaire thermique qui transforme directement le rayonnement en chaleur. La composante la plus importante et la plus coûteuse d'un système solaire actif de l'énergie est le capteur solaire, un Capteur solaire est un dispositif qui capte l'énergie solaire rayonnante et la convertit en énergie utile.

Le travail présenté dans ce projet fin d'étude est l'étude des performances des capteurs solaires thermiques plans. Des nombreuses innovations techniques permettent d'augmenter le rendement des panneaux thermiques, et permet d'obtenir des très grandes performances.