

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministre de l'Enseignement Supérieur
Et de la Recherche Scientifique

Université ABOU-BEKR BELKAID –Tlemcen-
F A C U L T E D E T E C H N O L O G I E
D E P A R T E M E N T G E N I E – M E C A N I Q U E



Mémoire de fin d'études



En vue de l'obtention du diplôme de Master en
Génie Mécanique
Option Génie énergétique

Thème

*Étude de l'influence des paramètres
(astronomique et dynamique) sur les performances
d'un capteur solaire plan à air*

Présenté par :

MOUHADJER YAHIA

HAMEL NABIL

Encadré par :

Mme.L.BENSEDDIK

Soutenu devant le jury :

Mr. R. SAÏM

Président

Mr. N.KORTI

Examineur

Mr. M.A GHERNAOUT

Examineur

Promotion: 2015

dédicace

*Nous dédions ce travail à nos chers parents
Et nos chers frères et nos sœurs
également tous les étudiants du génie Mécanique,
et tous les personnes qui nous ont contribué dans ce travail.
À Tous nos enseignants du département de génie
mécanique.*

remerciements

Nous remercions en premier lieu Dieu Tout Puissant pour nous avoir accordé la force et la volonté d'achever ce modeste travail.

Nous adressons nos plus vifs remerciements à l'encadreur, Madame L.BENSEDDIK, enseignant de Génie Mécanique de l'université

Abou bakr Belkaid -Tlemcen- ainsi que les membres du jury, Messieurs SAÏM, KORTI et GHARNAOUI pour avoir accepté d'examiner notre monographie et de rapporter sur notre travail avec efficacité et diligence.

Nos remerciements sont aussi à adresser aux membres de l'administration du département de Génie Mécanique et en particulier Monsieur GHNIFED.

Nous tenons à remercier également, Monsieur BENSEDDIK pour avoir accepté de nous encadrer dans notre projet de fin d'étude. Il nous a ainsi confortés dans notre désir de poursuivre notre carrière dans la recherche.

Enfin, nous tenons à remercier nos familles et nos proches, dont les encouragements et le soutien ont contribué à l'aboutissement de nos études.

SOMMAIRE

Introduction générale	1
Chapitre I : Gisement Solaire	2
I .1 Introduction	2
I .2 Le soleil	2
I .3 Le mouvement de la terre	5
I .4 Grandeurs géographiques et astronomiques	6
I .4.1 Grandeurs pour le repérage du soleil	6
I .4.2 Repère de coordonnées équatoriales.....	6
I .4.3 Repère de coordonnées horizontales.....	8
I .4.4 Grandeurs pour le repérage d'un site à la surface terrestre	9
I .4.5 Orientation d'un plan	10
I .4.6 Angle d'incidence sur un plan	10
I .5 Le rayonnement solaire	10
I .6 Le rayonnement solaire hors atmosphère	11
I .7 Le rayonnement solaire reçu au niveau du sol	13
Chapitre II : Généralité sur les capteurs solaires	14
II.1 Introduction	14
II.2 Différents types d'un capteur solaire thermique	14
II.2.1. Capteur sans vitrage	14
II.2.2. Capteur vitré	15
II.2.3. Capteur sous vide	16
II.2.4. Capteur à concentration	17
II.3 Les avantages et inconvénients des capteurs plans vitrés et non vitrés	19
II.3.1. Les capteurs plans vitrés	19
II.3.2. Les capteurs plans non vitré	19
II.4 Les capteurs solaires plans	19
II.4.1. Caractéristiques techniques des capteurs solaires plans	19
II.4.1.1 Principe	19
II.4.2 Caractéristiques techniques des différents composants	20

II.4.2.1	L'absorbeur	20
II.4.2.2	La couverture transparente	24
II.4.2.3	L'isolant	25
II.4.2.4	Le fluide caloporteur	27
II.5	Capteur plan à eau	28
II.6	Description des capteurs solaires plans à air	30
II.6.1	Introduction	31
II.6.2	Capteur plan à air.....	31
II.6.2.1	Capteurs à absorbeur plan	31
II.6.2.2	Capteurs à absorbeur perméable	32
II.6.2.3	Capteurs à absorbeur à géométrie variable	33
II.6.3	Performance est exposition.....	33
II.7	Applications des capteurs solaires plans à air	33
II.7.1	Chauffages et climatisation des habitations	34
II.7.2	Le séchage	35
II.8	Conclusion.....	36
	Chapitre III : Bilan Énergétique	37
III.1	Introduction	37
III.2	Comportement des corps vis-à-vis du rayonnement.....	37
III.3	réflexion des radiations	37
III.4	Coefficient de transmission de vitre	38
III.5	Effet des réflexions multiples	38
III.6	Flux global reçu sur un plan horizontal	39
III.7	Flux globale reçu sur un plan incliné	40
III.8	calcul de produit transmissivité-absorption global	40
III.9	Bilan énergétique	41
III.9.1	Rendement instantané du capteur	42
III.9.2	Rendement journalier du capteur	42
III.9.3	Rendement optique du capteur	42
III.9.4	La puissance thermique utile récupérée par le fluide caloporteur	43
III.9.5	Température de sortie du fluide caloporteur.....	43

III.9.6	Facteur de conductance du capteur	43
III.9.7	Température moyenne du fluide caloporteur	44
III.9.8	Température moyenne de l'absorbeur.....	44
III.9.9	Evaluation des pertes thermiques	44
Chapitre IV : résultat et interprétation		49
IV.1	Introduction	49
IV.2	Partie théorique	49
IV.2.1	influence des différences paramètre sur l'angle d'incidence	49
IV.2.2	remarques sur les graphes	54
IV.3	Partie expérimentale	54
IV.3.1	Les paramètres radiatifs	54
IV.3.2	Propriétés thermophysiques des différents composants du capteur	55
IV.3.3	Propriétés thermophysiques de l'air	56
IV.3.4	Propriétés de La vitre	56
IV.3.5	Propriétés de L'absorbeur	57
IV.3.6	Propriétés de L'isolation	57
IV.3.7	Hypothèses simplificatrices	58
IV.3.8	Le code de calcul	58
IV.4	Résultats et discussion	60
IV.5	Conclusion	66
Conclusion Générale		67
Bibliographie		

Introduction générale

Introduction générale :

La consommation mondiale énergétique augmente malheureusement au détriment de l'environnement qui nous entoure, d'une part, et non renouvelable d'autre part. En effet, les énergies fossiles [charbon, pétrole, gaz naturel] sont utilisées de manière abusive. Ces énergies sont polluantes et limitées.

Aujourd'hui la communauté scientifique reconnaît la responsabilité de cette consommation sur le réchauffement climatique qui risque d'avoir des effets dramatiques sur les équilibres physiques, économiques sociaux et politiques de notre planète. Le recours à des énergies propres pour assurer la sécurité énergétique et le développement économique et social des populations devient incontournable.

Les énergies renouvelables et spécialement le solaire devrait être la tendance en tenant compte de la sécurité de l'approvisionnement et de la protection de l'environnement ce choix est motivé par le fait que la quantité d'énergie solaire reçue chaque jour par la planète est 5 fois supérieure à la totalité des consommations quotidiennes humaines (nucléaire, charbon, bois, fioul, gaz, hydraulique...).

L'Algérie faisant partie de cette planète, dispose d'un potentiel solaire le plus fort sur la rive méditerranéenne avec ses 3500 heures d'ensoleillement par an. Elle possède un potentiel considérable en ce qui concerne les compétences humaines.

Dans le cadre de ce travail, nous allons nous intéresser à l'exploitation de l'énergie solaire par voie thermique en utilisant un capteur solaire à air plan.

Dans ce sens, plusieurs travaux ont été consacrés à l'étude des capteurs solaires plans et ayant surtout pour but l'amélioration de son rendement instantané qui est la performance la plus significative. Le rendement instantané

du capteur varie avec la géométrie du capteur, l'ensoleillement et les conditions extérieures. Une fois le capteur construit et installé, sa géométrie est fixe, et il ne dépendra que des paramètres externes. L'objectif de ce travail est l'étude des effets des paramètres externes sur le rendement instantané du capteur solaire à air plan. A cet effet, un système d'équation régissant le comportement thermique du capteur et les différents coefficients d'échange thermique est établi. Une simulation mathématique nous a permis d'obtenir des résultats représentés graphiquement, suivi par une analyse et une discussion, en plus d'une conclusion générale.

Le présent travail comporte quatre chapitres.

- Le premier chapitre est consacré à l'étude du gisement solaire avec quelques notions et définitions astronomiques, couramment utilisées dans tout domaine relatif au solaire.

- Une étude théorique du capteur solaire, ses différents composants, ses classifications, son fonctionnement et les différents échanges thermiques mis en jeu au sein du capteur feront l'objet du deuxième chapitre.

- Dans le troisième chapitre, nous présenterons un bilan énergétique d'un capteur plan à air, les différentes équations gouvernant le fonctionnement du système.

- simulation numérique du comportement du système ainsi que Les principaux résultats obtenus et leurs interprétations font l'objet du quatrième chapitre.

- Une introduction générale et une conclusion se rapportant au travail, complètent ce mémoire.

CHAPITRE I
Gisement Solaire

I .1 Introduction :

Issue de la nature, l'énergie se présente sous deux formes :

- Les énergies conventionnelles ou les énergies non renouvelables, elles sont d'origine fossile, dont les plus connues sont : le pétrole, le charbon, le gaz et l'uranium.
- Les énergies renouvelables ou les énergies non conventionnelles, dont les plus importantes sont : le solaire ; l'éolien, la géothermie et la biomasse. Elles ont pour origines des sources d'énergie inépuisables grâce aux cycles naturels telles que, le rayonnement solaire, le vent, le flux de chaleur interne de la terre, et le cycle du carbone dans la biosphère.

L'énergie solaire est la plus dominante de toutes les énergies renouvelables, elle est l'une des plus facilement exploitables. Comme la plus part des énergies douces, elle donne à l'utilisateur la possibilité de subvenir sans intermédiaire à une partir de ses besoins. [6]

La connaissance de la position du soleil dans le ciel à tout instant et en tout lieu est nécessaire pour l'étude de l'énergie interceptée. Les heures du lever et du coucher ainsi que la trajectoire du soleil dans le ciel au cours d'une journée permettent d'évaluer certaines grandeurs telles que la durée maximale d'insolation, l'irradiation globale.

Dans cette partie nous allons définir certaines grandeurs solaires à savoir :

- Les grandeurs astronomiques.
- Les grandeurs géographiques.
- Le rayonnement solaire hors atmosphère.
- Le rayonnement direct, diffus et global.

I .2 Le soleil :

Le soleil est l'origine principale de toute forme d'énergie sur terre. Ceci étant vrai autant pour les énergies conventionnelles d'origine fossile, comme les hydrocarbures

CHAPITRE I : Gisement Solaire

qui sont la conséquence de la photosynthèse ; que pour les énergies non conventionnelles dites renouvelables, comme l'énergie solaire, l'énergie éolienne, la biomasse, et l'énergie géothermique.

L'astre soleil est de constitution gazeuse, de forme sphérique de 14×10^5 km de diamètre, sa masse est de l'ordre de 2×10^{30} kg. Il est constitué principalement de 80% d'hydrogène, de 19% d'hélium, le 1% restant est un mélange de plus de 100 éléments [1], [2].

Il est situé à une distance de la terre égale à environ 150 millions de km. Sa luminosité totale, c'est-à-dire la puissance qu'il émet sous forme de photons, est à peu près égale à 4×10^{26} w. Seule une partie est interceptée par la terre, elle est de l'ordre de $1,7 \times 10^{17}$ w. Elle nous parvient essentiellement sous forme d'ondes électromagnétiques ; 30% de cette puissance est réfléchiée vers l'espace, 47% est absorbée et 23% est utilisée comme source d'énergie pour le cycle d'évaporation-précipitation de l'atmosphère [1], [2].

Les caractéristiques principales du soleil sont regroupées dans le tableau ci dessous [3]:

Diamètre (km)	14×10^5
Masse (kg)	2×10^{30}
Surface (km ²)	6.09×10^{12}
Volume (km ³)	1.41×10^{18}
Masse volumique moyenne (kg/m ³)	1408
Vitesse (km/s)	217
Distance du centre de la voie lactée (km)	2.5×10^{17}

Tableau I.1 : Caractéristiques principales du soleil [3]

Le soleil n'est pas une sphère homogène, on peut y distinguer trois régions principales (fig.1.1) [1], [2], [3] :

a/ L'intérieur, contient 40% de la masse du soleil, c'est là où se crée l'énergie par réaction thermonucléaire, cette région s'étend sur une épaisseur de 25×10^4 km. Cette

CHAPITRE I : Gisement Solaire

couche est divisée en trois zones, le noyau, la zone radiative et la zone convective. Le rayonnement émis dans cette partie est totalement absorbé par les couches supérieures. La température atteint plusieurs millions de degrés, et la pression un milliard d'atmosphères.

b/ La photosphère est une couche opaque, très mince, son épaisseur est d'environ 300 km, elle est responsable de la presque totalité du rayonnement qui nous parvient, c'est la partie visible du soleil. L'ordre de grandeur de la température n'y est plus que de quelques millions de degrés, décroissant très rapidement dans l'épaisseur de la couche jusqu'à une température dite de surface de l'ordre de 4500° .

c/ La chromosphère et la couronne solaire, sont des régions à faible densité ou la matière est très diluée, elles constituent l'atmosphère du soleil. Cette couche est caractérisée par un rayonnement émis très faible, bien que la température y très élevée (un million de degrés),

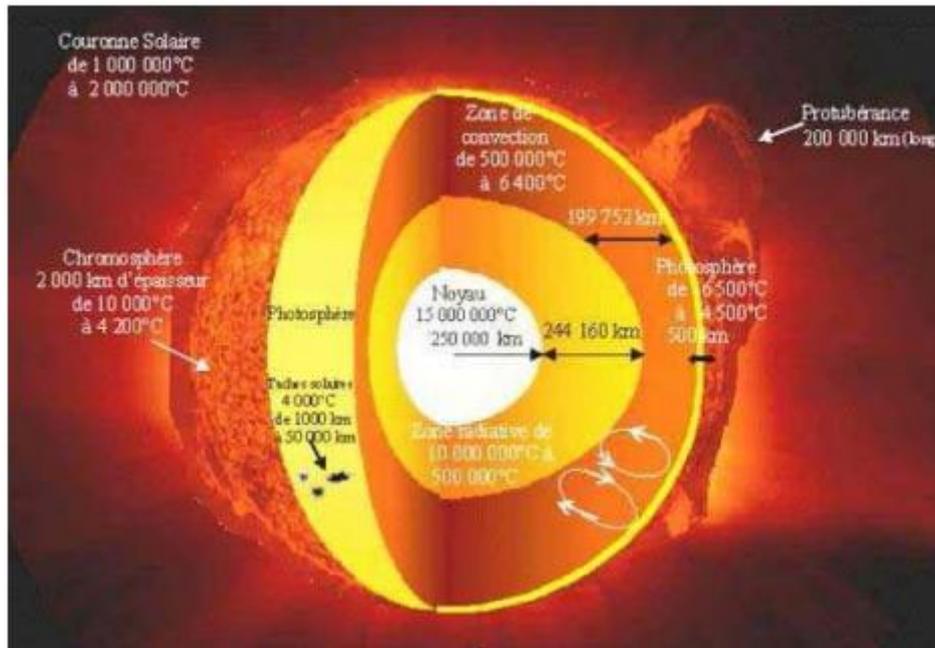


Figure I- 1 :Structure du soleil

I.3 Le mouvement de la terre :

Dans son mouvement autour du soleil, la terre décrit une ellipse dont le soleil est l'un de ses foyers, la révolution complète s'effectue en une période de 365,25 jours. Le plan de cette ellipse est appelé l'écliptique [1].

C'est au solstice d'hiver (21 décembre) que la terre est la plus proche du soleil : 147 millions de km. Au 22 juin la distance terre-soleil vaut 152 millions de km, c'est le jour où la terre est la plus éloignée, c'est le solstice d'été. Le 21 mars et le 21 septembre sont appelés respectivement équinoxes de printemps et équinoxe d'automne. Aux équinoxes le jour et la nuit sont égaux [1].

En plus de sa rotation autour du soleil, la terre tourne également sur elle-même autour d'un axe appelé l'axe des pôles. Cette rotation s'effectue en une journée. Le plan perpendiculaire à l'axe des pôles et passant par le centre de la terre est appelé l'équateur. L'axe des pôles n'est pas perpendiculaire à l'écliptique, ils font entre eux un angle appelé inclinaison égale à $23^{\circ}27'$ [1].

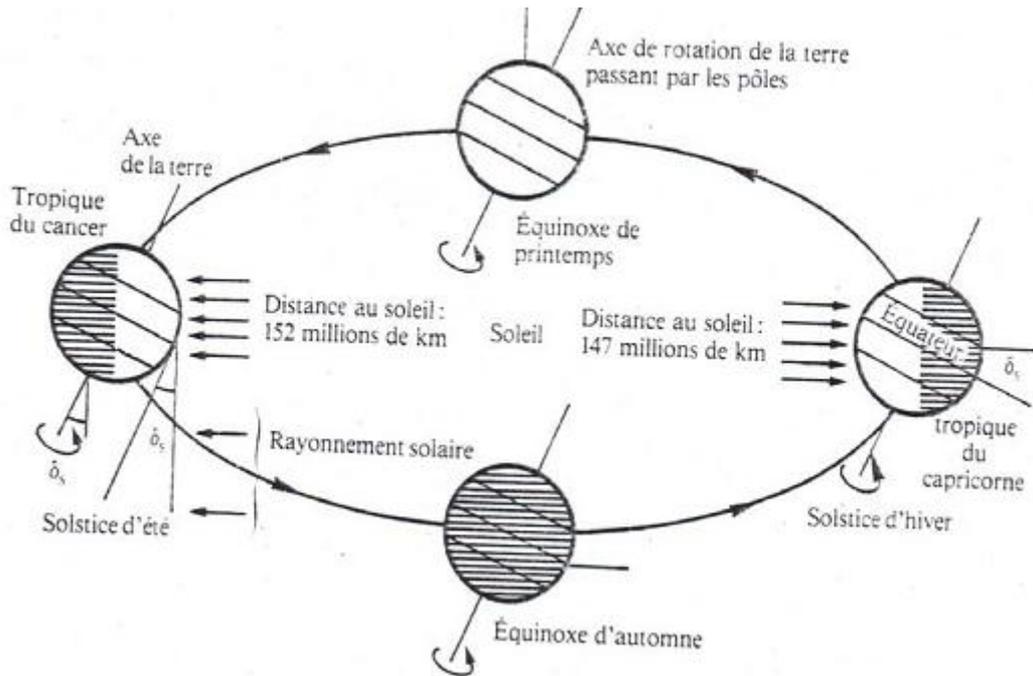


Figure I- 2 : Mouvement de la terre autour du soleil

I .4 Grandeurs géographiques et astronomiques

I.4.1 Grandeurs pour le repérage du soleil

La position du soleil dans le ciel n'est pas fixe, elle change à travers le jour et la saison. Ce changement de position est engendré par la rotation de la terre sur elle même (autour de son axe), et de son mouvement autour du soleil (dans son orbite) [1], [4].

Afin de déterminer cette position il est d'usage d'utiliser deux repères : le repère équatorial ou horaire et le repère horizontal ou azimutal.

I .4.2 Repère de coordonnées équatoriales

Dans ce repère la position du soleil dans le ciel est déterminée par deux grandeurs [1], [4]:

La déclinaison (δ) : C'est l'angle entre la direction soleil-terre et le plan de l'équateur terrestre. Elle est nulle aux équinoxes et maximale aux solstices, elle varie de $-23,27^\circ$ au solstice d'hiver à $+23,27^\circ$ au solstice d'été.

CHAPITRE I : Gisement Solaire

Elle peut être évaluée en première approximation par la relation suivante :

$$\delta = 23,27 \sin [360 / 3655(j + 284)] \quad (1.1)$$

δ est exprimée en degrés.

j est le numéro du jour de l'année à partir du premier janvier.

- **Angle horaire (ω)** : C'est l'angle compris entre le méridien origine passant par le sud et la projection du soleil sur le plan équatorial, il mesure la course du soleil dans le ciel. Il est donné par la relation suivante :

$$\omega = 15 (\text{TSV} - 12) \quad (1.2)$$

TSV : temps solaire vrai ;

Il vaut 0° à midi solaire, ensuite chaque heure correspond à une variation de 15° , car la période de la terre dans sa rotation sur elle-même est égale à 24h. Compté négativement le matin lorsque le soleil est vers l'est et positivement le soir.

Le temps solaire vrai est égal au temps légal corrigé par un décalage dû à l'écart entre la longitude du lieu et la longitude référence.

$$\text{TSV} = \text{TU} + 4 (\text{LSt} - \text{Lg}) + \text{ET} \quad (1.3)$$

TU : temps universel standard (mn)

LSt : méridien standard du lieu ($^\circ$)

Lg : méridien local du lieu ($^\circ$)

ET : correction de l'équation du temps, donnée par la relation suivante :

$$\text{ET} = 9,87 \sin (2\text{JD}) - 7,35 \cos (\text{JD}) - 1,5 (\text{JD}) \quad (1.4)$$

$$\text{Avec } \text{JD} = (\text{J} - 81) \times (360/365) \quad (1.5)$$

Et J : nombre de jours à partir du premier janvier.

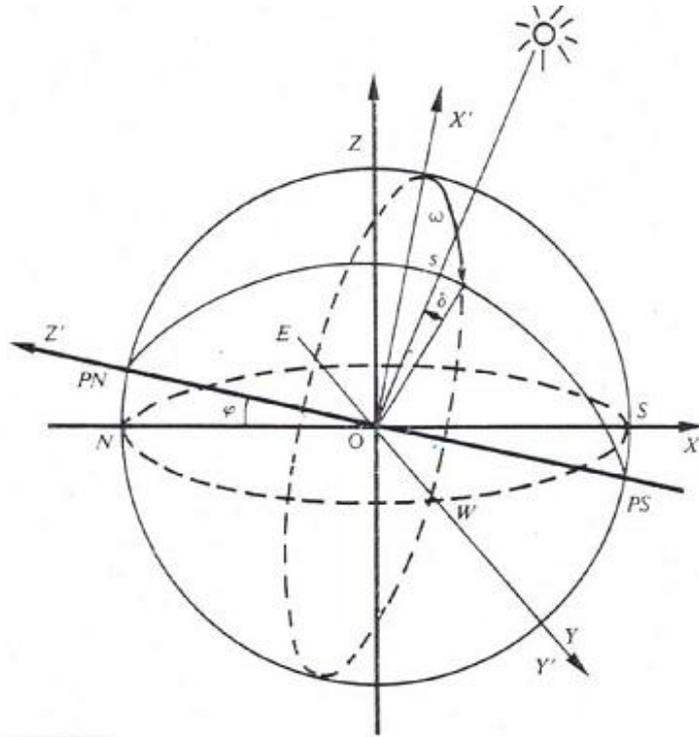


Figure I- 3 : Repère de coordonnées horaires

I .4.3 Repère de coordonnées horizontales

Le repère horizontal est formé par le plan de l'horizon astronomique et la verticale du lieu [1].

Dans ce repère les coordonnées du soleil sont :

La hauteur du soleil (h) : C'est l'angle formé par la direction du soleil et sa projection sur le plan horizontal.

Il est donné par la relation suivante :

$$\sin(h) = \sin(\Phi) \cdot \sin(\delta) + \cos(\Phi) \cdot \cos(\delta) \quad (1.6)$$

Φ : latitude du lieu.

Azimut du soleil (a) : C'est l'angle compris entre la projection de la direction du soleil sur le plan horizontal et le sud. L'azimut est compté positivement vers l'ouest et négativement vers l'est.

Il est donné par la relation suivante :

$$\sin(a) = (\cos(\delta) \cdot \sin(\omega)) / \cos(h) \quad (1.7)$$

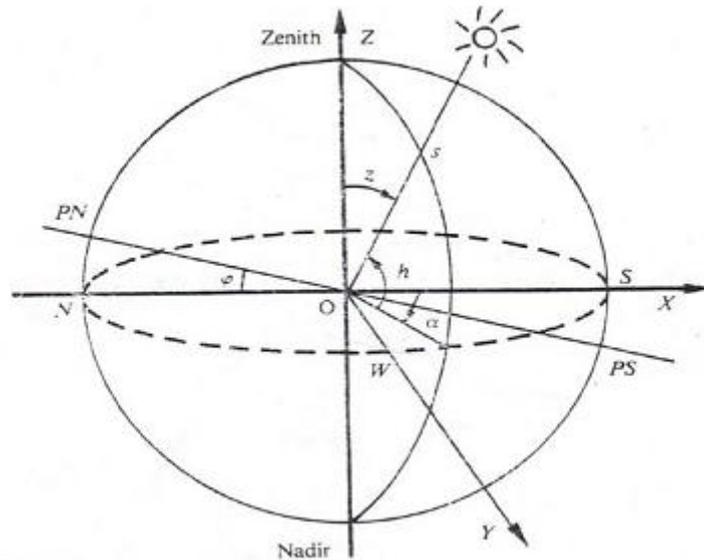


Figure I- 4 : Repère de coordonnées azimutales

I .4.4 Grandeurs pour le repérage d'un site à la surface terrestre :

Un point quelconque d'un lieu donné du globe peut être défini par les coordonnées suivantes [1], [4]:

Latitude (Φ) : correspond à l'angle entre le rayon joignant le centre de la terre à ce lieu et le plan équatorial. Elle varie de -90° à $+90^\circ$, elle est positive vers le nord.

Longitude (Le) : représente l'angle entre le plan méridien passant par ce lieu et le plan méridien origine (Green winch).

L'altitude est la distance verticale entre ce point et une surface théorique de référence (surface de la mer).

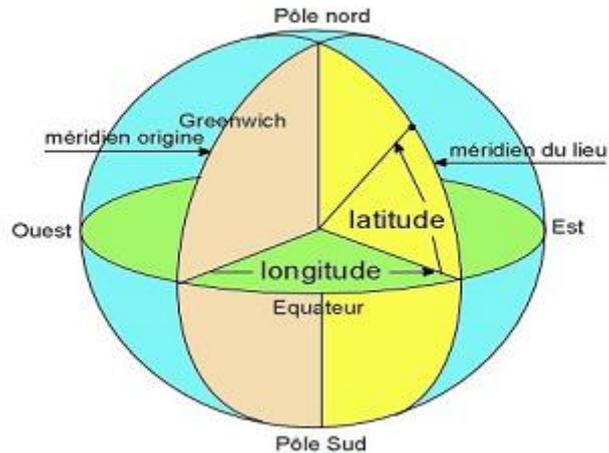


Figure I- 5 : Repérage d'un site sur la surface terrestre

I .4.5 Orientation d'un plan :

L'orientation d'un plan quelconque est définie par deux angles (α , γ) [1], [4]:

α : azimut du plan, c'est l'angle que fait la projection de la normale sur le plan horizontal et la direction du sud.

γ : hauteur du plan, c'est l'angle que fait la normale du plan et sa projection sur le plan horizontal. L'inclinaison β du plan par rapport au plan horizontal est donnée par :

$$\beta = 90 - \gamma \quad (1.8)$$

I .4.6 Angle d'incidence sur un plan :

L'angle d'incidence θ est l'angle que fait la direction des rayons solaires incidents avec la normal au plan de la surface réceptrice. Il est donné par la relation suivante [1], [4] :

$$\cos(\theta) = \cos(\alpha - a) \cdot \cos(\gamma) \cdot \cos(h) + \sin(\gamma) \cdot \sin(h) \quad (1.9)$$

I .5 Le rayonnement solaire :

Le rayonnement électromagnétique émis par le soleil est la manifestation externe des interactions nucléaires qui se produisent au cœur du soleil et de l'ensemble des

CHAPITRE I : Gisement Solaire

interactions secondaires qu'elles génèrent dans son enveloppe. Il constitue la quasi-totalité de l'énergie expulsée par le soleil.

Le rayonnement solaire est caractérisé par différentes caractéristiques dont la plus importante est la constante solaire, qui est une donnée fondamentale indépendante des conditions météorologiques [5].

La deuxième caractéristique du rayonnement solaire est sa répartition spectrale, qui est à peu près celle d'un corps noir à 5800°k. Le rayonnement solaire est une superposition d'ondes dont les longueurs vont de 0,25 micromètres à 4 micromètres [1], [5].

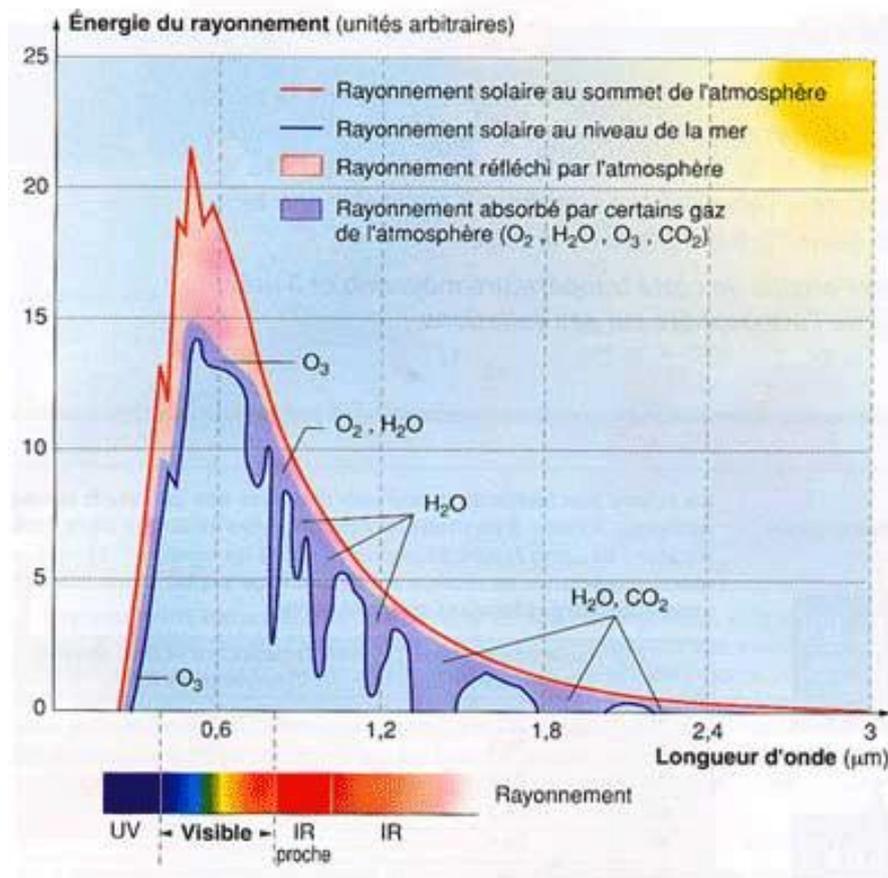


Figure I- 6 : Le spectre solaire

I .6 Le rayonnement solaire hors atmosphère :

Le rayonnement solaire hors atmosphère ne dépend que des paramètres astronomiques, il est caractérisé par une donnée fondamentale appelée constante solaire [1], [5].

CHAPITRE I : Gisement Solaire

La constante solaire :

La constante solaire E_0 est le flux énergétique reçu par une surface unité, normale aux rayons solaires, située en dehors de l'atmosphère à une distance moyenne terre-soleil.

La mesure de la constante solaire a fait l'objet de nombreuses expériences. Dans notre cas nous adopterons la valeur de 1353 w/m^2 ($\pm 1,5\%$). Ce flux, dit constante solaire varie cependant légèrement au cours de l'année, suivant les variations de la distance terre-soleil.

En première approximation, on peut calculer la valeur de E en fonction du numéro du jour de l'année j par la relation suivante :

$$E = E_0 [1 + 0,033 \cos(0,984 j)] \quad (1.10)$$

L'évolution annuelle est représentée par la figure 1.7 suivante :

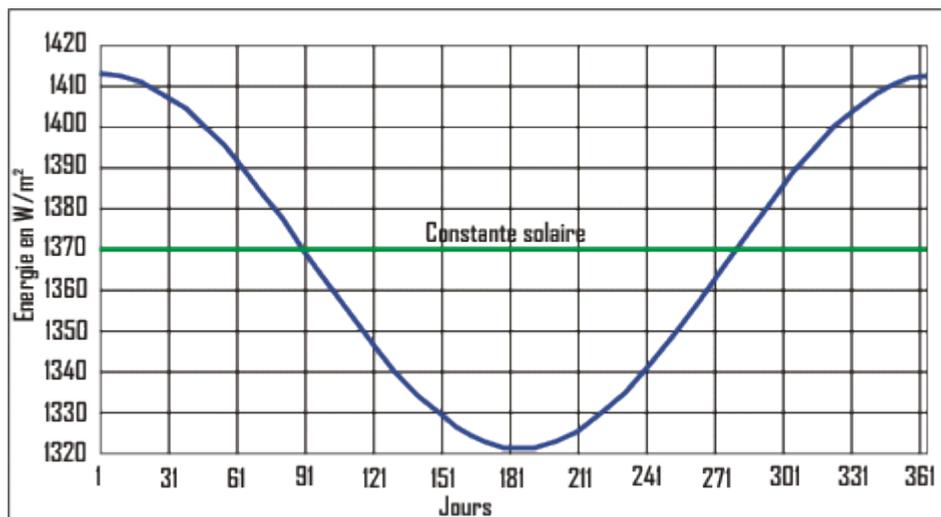


Figure I- 7 : Evolution annuelle de la constante solaire

On remarque que le maximum est obtenu au mois de janvier avec la valeur 1413 w/m^2 , le minimum au début de juillet avec la valeur 1320 w/m^2

I.7 Le rayonnement solaire reçu au niveau du sol :

L'atmosphère terrestre perturbe grandement et par des processus variés le flux de photons issu du soleil. Donc, après sa traversée de l'atmosphère, le rayonnement solaire peut être considéré comme la somme de deux composantes [1], [5] :

Le rayonnement direct est celui qui traverse l'atmosphère sans subir de modifications, il provient du disque solaire seulement à l'exclusion de tout rayonnement diffusé, réfléchi ou réfracté par l'atmosphère.

Le rayonnement diffus est la part du rayonnement solaire provenant de toute la voûte céleste, à l'exception du disque solaire, et diffusé par les particules solides ou liquides en suspension dans l'atmosphère. Il n'a pas de direction privilégiée.

Le rayonnement global est le rayonnement reçu sur une surface horizontale provenant du soleil et de la totalité de la voûte céleste. Il est la somme du rayonnement direct et du rayonnement diffus. La figure 1.8 illustre les différents composants du rayonnement solaire au niveau du sol.

Les trois quantités, le rayonnement direct noté I, le rayonnement diffus D, et le rayonnement global G, sont reliés par la relation suivante :

$$G = I \cdot \sin(h) + D \quad (1.11)$$

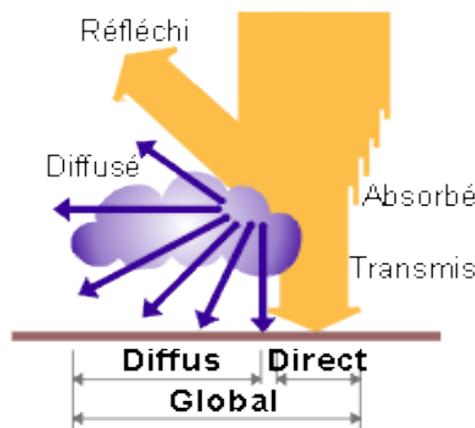


Figure I- 8 : Rayonnement direct, diffus et global

CHAPITRE II

Généralité sur les capteurs solaires

II.1. Introduction :

Le captage de l'énergie solaire se fait par des différents dispositifs et parmi ceux-ci les capteurs solaires thermiques qui recueillent cette énergie transmise par rayonnement et la communiquent sous forme de chaleur.

Ces capteurs solaires ont presque tous le même principe de fonctionnement, mais leurs différences résident dans le choix des éléments qui les constituent.

Ces isolations peuvent être utilisés dans beaucoup d'applications nécessitant des températures basses, hautes et modérées, telles que pour le chauffage des locaux, le séchage (des produits agricoles, du bois, des briques, ...etc.), et faire fonctionner des moteurs thermiques.[7]

II.2. Différents types d'un capteur solaire thermique :

Il existe différentes technologies de capteurs solaires thermiques de la plus rudimentaire à la plus avancée, chacune adaptée à des usages spécifiques.

Parmi les grandes familles de capteurs, on trouve : les capteurs plans non vitrés, les capteurs plans vitrés, les capteurs sous vide et les capteurs à concentration.

Ces types diffèrent considérablement en qualité, en rendement, en conception et en coût.

II.2.1. Capteur sans vitrage : (aussi appelé capteur "moquette")

Il ne comporte pas de couverture et est souvent constitué uniquement : d'absorbeurs (métalliques ou en plastique).

- de faisceaux de tubes cylindriques ou ovalisés parcourus par de l'eau (fluide caloporteur). Cette eau se réchauffe au fil de l'écoulement dans les tubes.
- Les pertes thermiques étant dans ce cas élevées.
- Il est peu sensible à l'angle d'incidence du rayonnement.

Les températures courantes de fonctionnement ne dépassent jamais 30°C, ce qui limite leur emploi :

CHAPITRE II : Généralité sur les capteurs solaires

- au chauffage des piscines.
- au préchauffage d'eau chaude.

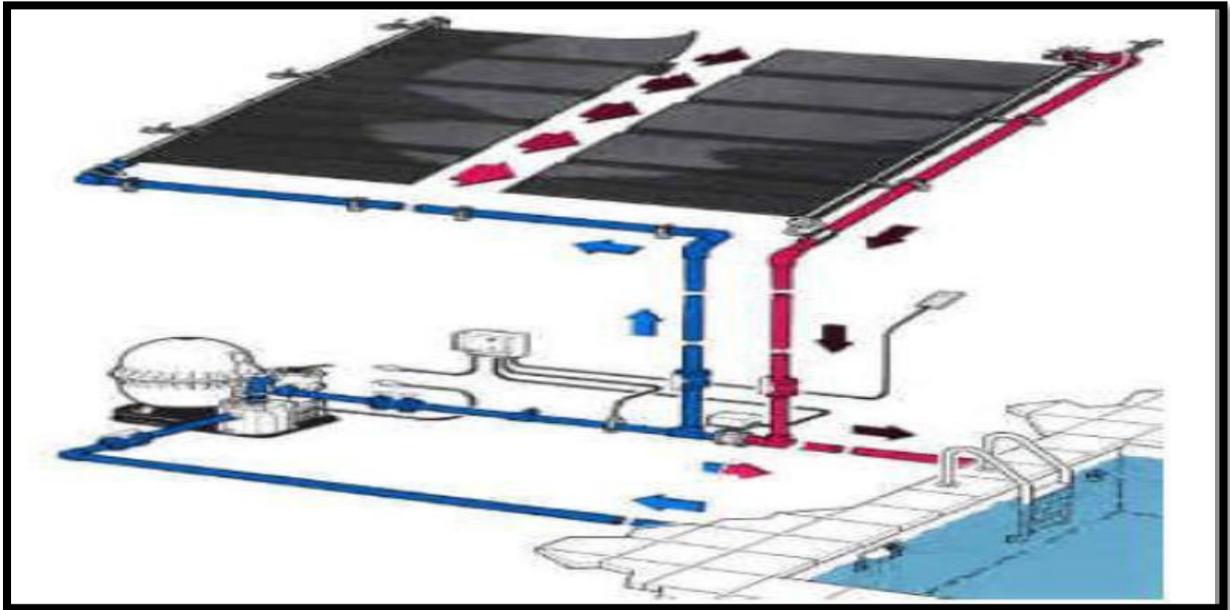


Figure II- 1 : Schéma d'un capteur sans vitrage.[8]

II.2.2. Capteur vitré :

Le capteur muni d'une couverture transparente, souvent appelé « capteur vitré », est le plus utilisé, car il correspond au domaine d'application le plus courant : le chauffage de l'eau sanitaire.

La température d'utilisation est en général inférieure à 70 °C.

Plus rarement, un capteur vitré, muni d'une couverture transparente de type «double vitrage», permet d'atteindre des températures de fonctionnement de l'ordre de 100 °C.

Le capteur vitré est constitué de différents composants :

- le coffre.
- l'isolation thermique.
- l'absorbeur.
- la couverture transparente.

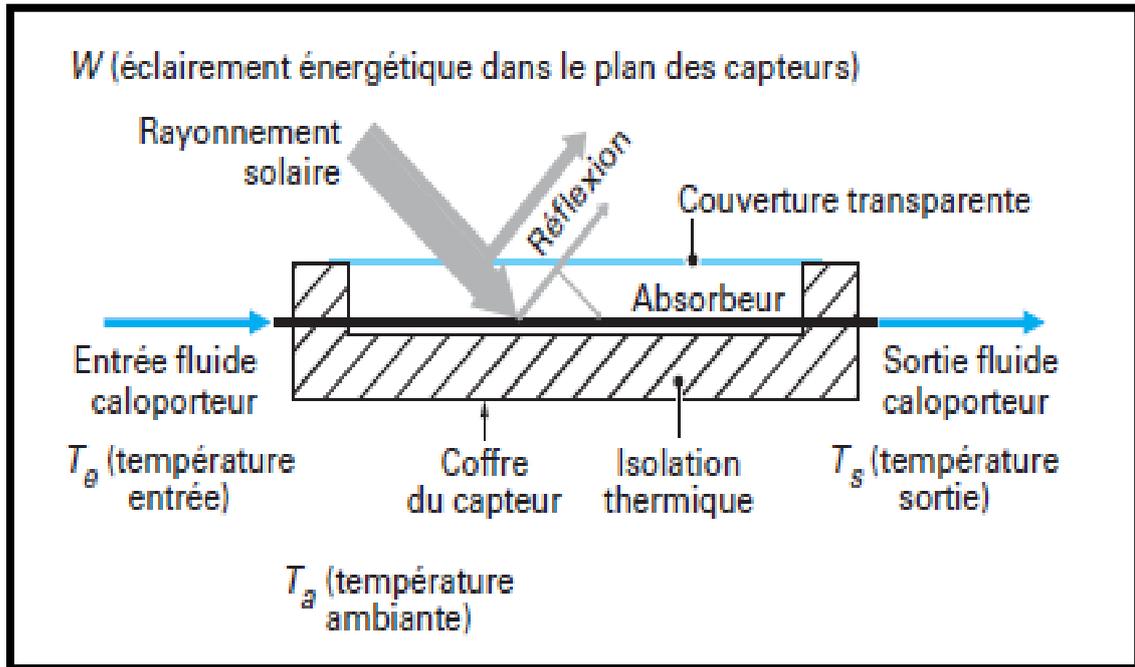


Figure II- 2 : Schéma d'un capteur vitré.[9]

II.2.3. Le capteur sous vide

Ce type de capteur utilise le vide comme isolation thermique, il possède donc un très bon rendement à hautes températures. Il est composé :

- D'une série de tubes de verre sous vide, de faible diamètre (jusqu'à une quinzaine de centimètres).
- D'un absorbeur à l'intérieur des tubes de verre.
- Des tubes en cuivre à l'intérieur d'un tube de verre. Ces tubes en cuivre sont parcourus par un fluide caloporteur (eau + antigel). Cette eau se réchauffe au fil de l'écoulement dans les tubes.

Grâce aux propriétés isolantes du vide, les déperditions de chaleur par convection sont fortement réduites. Ceci permet de chauffer l'eau à une température comprise entre 85°C et 100°C.

De telles températures élevées sont requises pour des applications industrielles utilisant de l'eau très chaude ou de la vapeur.

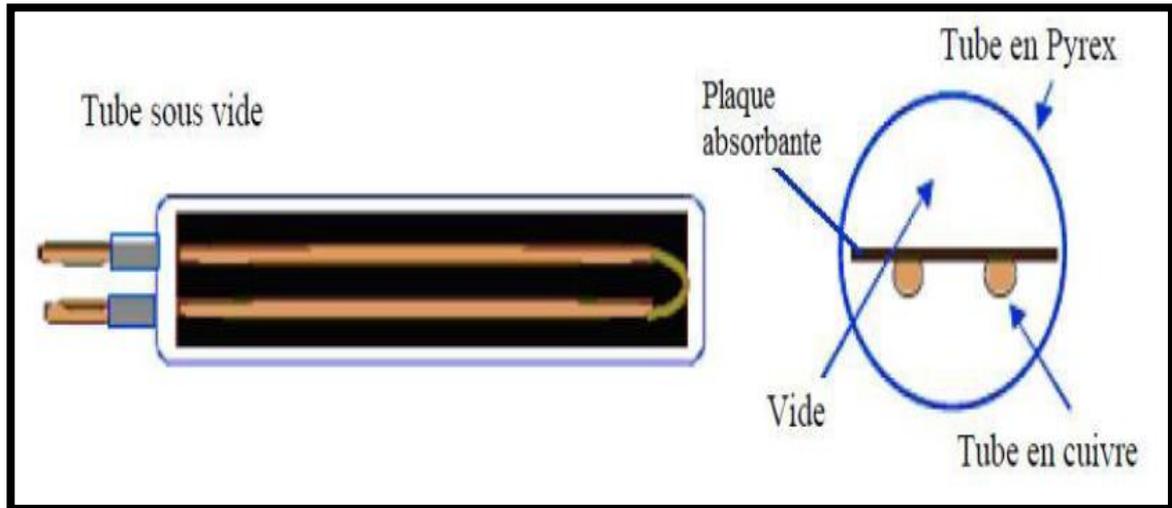


Figure II- 3 : Les composants d'un capteur sous vide .[10]

II.2.4. Le capteur à concentration

Ce mode de captation de l'énergie solaire est réalisé par la concentration géométrique qui concentre les rayons solaires dans une zone locale, ainsi l'énergie reçue par l'unité de surface, dans cette zone sera beaucoup plus importante.

On distingue deux types de système :

- **Système à réflecteur cylindro-parabolique**

Comme son nom l'indique, ce système utilise une série de longs réflecteurs cylindriques en forme de parabole. La parabole concentre la lumière sur un tube récepteur situé le long de la ligne locale du réflecteur. Les températures du récepteur peuvent atteindre 400 °C et peuvent produire de la vapeur afin de produire de l'électricité.

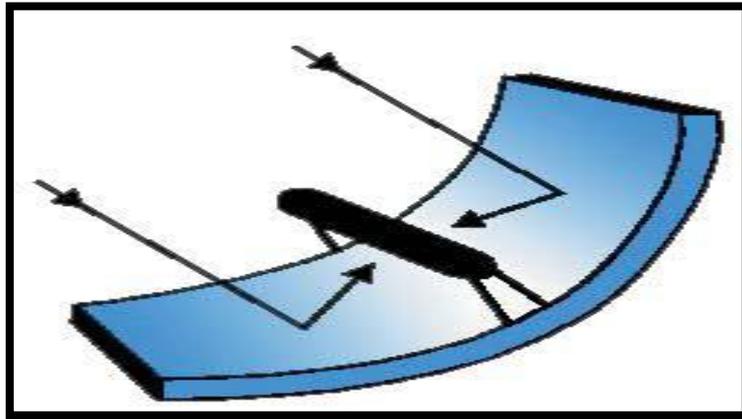


Figure II- 4 : Système à réflecteur cylindro-parabolique

- **Système à réflecteur parabolique**

Un système à réflecteur parabolique utilise des miroirs paraboliques pour concentrer le rayonnement solaire sur un récepteur situé au foyer du récepteur. Le récepteur contient un fluide qui, lorsque les rayons du soleil le frappent, atteint une température de 750 à 1 000 °C. Ce fluide très chaud est ensuite utilisé pour produire de l'électricité dans un petit moteur fixé au récepteur. À l'instar du réflecteur cylindro-parabolique, le réflecteur parabolique suit aussi les mouvements du soleil.

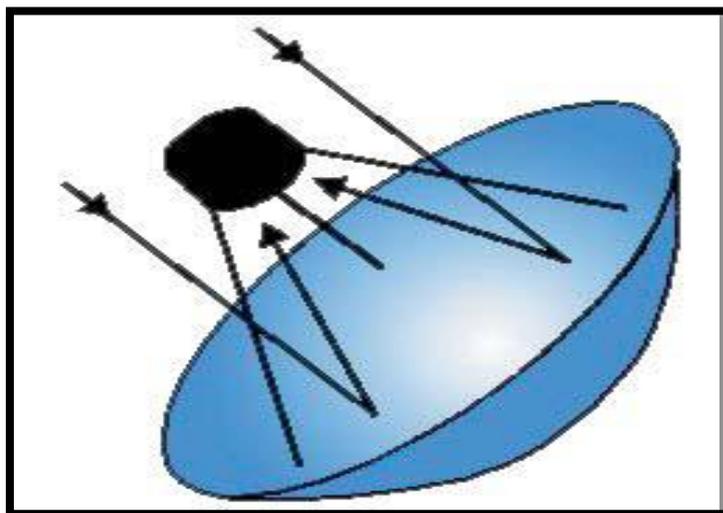


Figure II- 5 : Système à réflecteur parabolique

II.3. Les avantages et inconvénients des capteurs plans vitrés et non vitrés :

II.3.1. Les capteurs plans vitrés :

- **Avantage :**

Longueur durée de vie.

Efficacité énergétique.

- **Inconvénients :**

Ne convient qu'à hautes températures.

La température interne peut monter très rapidement dans l'absence de circulation de fluide caloporteur.

II.3.2. Les capteurs plans non vitré :

- **Avantages :**

Coût moindre.

Rendement élevé pour des températures $<40^{\circ}\text{C}$.

L'absorbeur peut constituer lui-même le toit des bâtiments.

- **Inconvénient :**

Fonctionne uniquement pour des faibles températures.

II.4. Les capteurs solaires plans :

II.4.1. Caractéristiques techniques des capteurs solaires plans :

II.4.1.1. Principe :

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

Le schéma de principe d'un capteur solaire plan est donné sur la figure I.6.

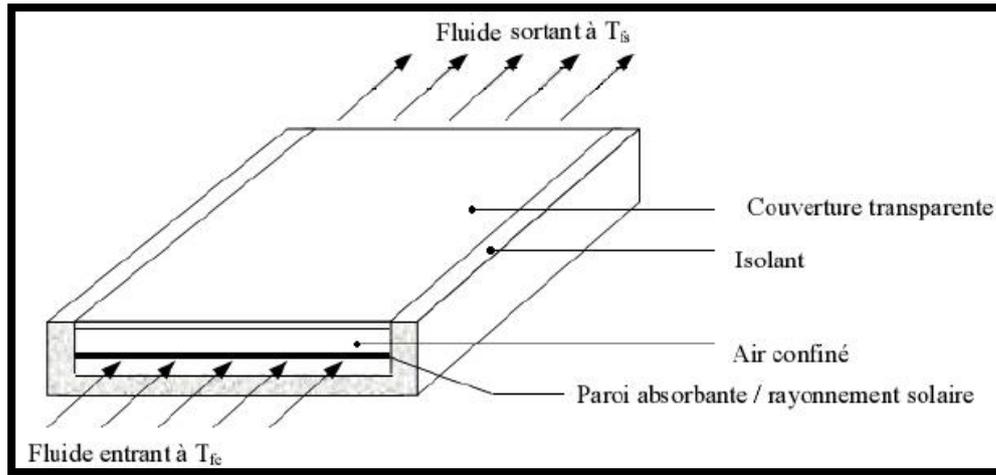


Figure II- 6: Schéma de principe d'un capteur solaire plan [11]

La paroi absorbante s'échauffe sous l'effet de l'absorption du rayonnement solaire incident. Le fluide qui circule sous cette paroi récupère par convection une partie de cette énergie absorbée et subit une élévation de température $T_{fs} - T_{fe}$ à la traversée du capteur.

II.4.2. Caractéristiques techniques des différents composants :

Le capteur solaire plan se compose essentiellement des éléments suivants :

- une plaque opaque qui absorbe le rayonnement solaire et transmette au fluide caloporteur.
- une isolation thermique arrière est latérale.
- une couverture transparente généralement en verre à simple ou à double qui assure l'effet de serre et évite le refroidissement de l'absorbeur en protégeant de vent.

II.4.2.1. L'absorbeur

Deux fonctions incombent à l'absorbeur [12] :

1. absorber la plus grande partie du rayonnement solaire possible
2. transmettre la chaleur produite vers le fluide caloporteur avec un minimum de pertes.

CHAPITRE II : Généralité sur les capteurs solaires

De plus, il devra être le plus léger possible afin de limiter l'inertie de mise en régime et construit avec un bon matériau conducteur.

Les absorbeurs sont généralement réalisés avec des feuilles minces de métaux présentant une bonne conductibilité et une bonne tenue mécanique. C'est pourquoi, la plupart du temps, les absorbeurs sont réalisés au moyen d'un support en cuivre de 0,2 mm et sont recouverts par un traitement de surface.

L'absorbeur en général est disposé de 25 mm à 30 mm d'isolant.

Le rôle de l'absorbeur est de capter au maximum le rayonnement et d'en réémettre le moins possible.

Ces types de surfaces absorbant au maximum et réémettant au minimum ont été nommées surfaces « sélectives ».

La sélectivité de l'absorbeur est très importante; elle est améliorée au moyen de traitements de surface qui ajoutent au support des caractéristiques telles que le rayonnement solaire est très bien absorbé et que le rayonnement infrarouge émis (dû à l'échauffement) est limité.

Deux coefficients déterminent les caractéristiques de ces absorbeurs :

- ✓ α : coefficient d'absorption (0 à 1, optimum : 1)
- ✓ ε : coefficient d'émission (0 à 1, optimum : 0)

Un tel traitement de surface peut être obtenu par des procédés électrochimiques ou électrophysiques de nombreux progrès ont été réalisés dans ce domaine les plus importants, classés par ordre d'apparition, seront présentés et comparés par rapport à la peinture noire.

- **Les différents revêtements possibles :**

- a. la peinture noire:

CHAPITRE II : Généralité sur les capteurs solaires

La peinture mate noire du commerce permet d'obtenir un coefficient d'absorption α compris entre 0,9 et 0,95. Mais le degré d'émission ε lui est très élevé (0,85) [13].

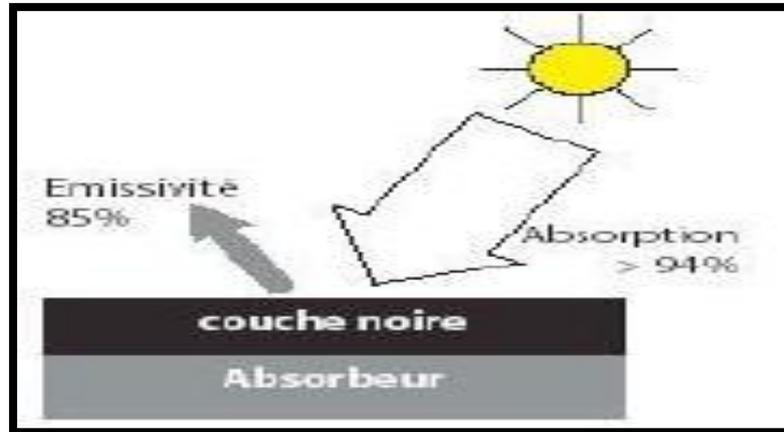


Figure II- 7 : peinture noire sur absorbeur [14]

b. Oxyde de chrome:

Le revêtement en "black chrome" (couleur noire) est composé d'oxyde de chrome déposé sur une sous-couche de nickel, le tout formant une couche extrêmement fine sur un support métallique son coefficient d'absorption α est de 0,95 et son coefficient d'émission ε de 0,12 à 0,18.

c. Traitement sous vide :

Ce revêtement sélectif a été mis au point en 1995 et est facilement reconnaissable de par sa couleur bleu marine, ce procédé consiste à déposer différents métaux (titane, ...) sur la surface absorbante en présence du vide.

Le coefficient d'absorption α obtenu est supérieur à 0,95 et le coefficient d'émission ε , inférieur à 0,05.

CHAPITRE II : Généralité sur les capteurs solaires

Tellement le procédé de revêtement sous vide a pris une grande place sur le marché grâce :

- ✓ à ses performances.
 - ✓ à sa faible consommation en énergie lors de la fabrication (1kWh par m² d'absorbeur, c'est à dire moins de 10% de l'énergie nécessaire pour les autres revêtements)
 - ✓ à son respect au niveau écologique (pas de dégagements de gaz ou solides, pas de pollution de l'eau)

On donne un tableau pour les valeurs de α et ϵ pour les matériaux absorbeur les plus utilisés dans les capteurs solaires plan:

Support et traitement	α	E
Acier nickel noir sur nickel	0,95	0,07
Acier et chrome noir sur nickel	0,95	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 e cuivre noir	0,88	0,15
Acier et oxyde de fer	0,85	0,08
Aluminium et oxyde de manganèse	0,70	0,08
Acier et couche organique sur chrome noir	0,94	0,20
Peinture noir époxy	0,95	0,18
Peinture blanche époxy	0,25	0,91

Tableau II.1 Le coefficient d'absorption α et le coefficient d'émission ϵ pour les supports les plus utilisés comme absorbeur [16]

II.4.2.2. La couverture transparente :

La couverture a une fonction de protection de l'absorbeur, mais elle joue aussi un rôle important dans le bilan thermique en réduisant les pertes de chaleur. Habituellement, on utilisera le verre comme couverture transparente [17].

Un tel dispositif représente donc un véritable piège au rayonnement solaire, qui peut être amélioré en munissant le capteur d'une double couverture.

Comme couvertures transparentes utilisées dans la conception des capteurs solaire plans, on distingue :

- Le verre :

La propriété physique intéressante du verre est qu'il permet de laisser passer le rayonnement solaire et d'arrêter le rayonnement infrarouge d'un émetteur tel que celui de l'absorbeur. La chaleur est donc bloquée entre l'absorbeur et la couverture : c'est l'effet de serre.

La couverture doit présenter une bonne résistance aux chocs, aux brusques variations de températures ainsi qu'aux températures élevées.

Une appellation « verre solaire » existe et fait l'objet d'exigences toutes particulières :

- le verre doit être trempé pour résister sans risques aux charges thermiques et mécaniques.
- il doit présenter un haut degré de transmission solaire caractérisé par une faible teneur en fer.
- il doit être doté d'une surface structurée permettant de réduire les reflets directs.

La qualité du verre est caractérisée par son rendement optique ou taux de transmission ζ qui dépend de la nature et de l'épaisseur du vitrage ainsi que de l'angle

CHAPITRE II : Généralité sur les capteurs solaires

d'incidence i et de la nature du rayonnement (direct ou diffus) (valeur habituelle de $\zeta : 0,91$).

Actuellement, un nouveau verre, dit « antireflet », équipe certains capteurs. Ce verre a un taux de transmission de l'ordre de 96% et son effet se marque davantage pour le placement de capteurs à la verticale

II.4.2.3. L'isolant :

Limiter les pertes de transmission vers l'extérieur est primordial pour optimiser les performances du capteur [18].

Nombreux sont les produits isolants qui peuvent convenir pour l'isolation des capteurs, mais il faut veiller à la tenue de la température, car une coupure de circulation du fluide caloporteur peut faire monter la température intérieure du capteur à plus de 150°C.

Les isolants généralement utilisés sont la laine de verre et les mousses polyuréthanes. Leur épaisseur varie de 4 à 8 cm.

Un bon isolant doit les qualités suivantes :

- une faible conductivité thermique.
- une faible densité (pour une faible inertie thermique).
- la chaleur massique doit être basse.
- une résistance thermique dans l'intervalle des températures de service.

On distingue trois types d'isolants :

▪ isolants minéraux :

- 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 conductibilité varie entre 0,034Wm-1k-1 à 0°C et 0,053 Wm-1k-1 à 200°C.

CHAPITRE II : Généralité sur les capteurs solaires

- La vermiculite connue aussi sous le nom de mica, dont la conductibilité varie de 0,12 à 0,60 $\text{Wm}^{-1}\text{k}^{-1}$ et qui se présente sous forme de granulés très légers.

▪ Isolants d'origine végétale :

- le bois bien sec, sa conductibilité varie entre 0,13 et 0,4 $\text{Wm}^{-1}\text{k}^{-1}$, ses qualités isolantes peuvent être améliorées, s'il est utilisé sous forme de fibres agglomérées ($\lambda = 0,05\text{Wm}^{-1}\text{k}^{-1}$ à $0,10\text{Wm}^{-1}\text{k}^{-1}$).

- la sciure de bois ($\lambda = 0,11\text{Wm}^{-1}\text{k}^{-1}$), 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.

▪ Isolants organiques :

- les matières plastiques, sont de mauvaises conductrices de la chaleur. Leurs propriétés isolantes peuvent être améliorées en insufflant un gaz durant l'étape de solidification, ce qui leur donne la consistance d'une mousse, telle que les mousses phénoliques ($\lambda = 0,44\text{Wm}^{-1}\text{k}^{-1}$) et la mousse de chlorure de polyvinyle ($\lambda = 0,033\text{Wm}^{-1}\text{k}^{-1}$).

- La mousse de polyuréthane existe sous deux aspects :

✓ haute densité ($d = 0,6$) suffisamment rigide pour servir à la fabrication des caissons de capteurs, tout en constituant un bon isolant ($\lambda = 0,08\text{Wm}^{-1}\text{k}^{-1}$).

✓ Basse densité ($d = 0,03$) qui est plus fragile, mais meilleure, pour l'isolation ($\lambda = 0,025\text{Wm}^{-1}\text{k}^{-1}$). Il convient de recouvrir ce type de matériau d'un isolant plus résistant à la chaleur si la température dépasse la valeur de 90°C .

✓ Le polystyrène est très léger, fragile, de couleur blanche, utilisé généralement pour l'emballage. Ses propriétés isolantes sont légèrement moins bonnes que le polyuréthane, sa conductibilité thermique est de l'ordre de $0,04\text{Wm}^{-1}\text{k}^{-1}$, mais il est nettement moins cher et il se sublime à partir de 90°C .

CHAPITRE II : Généralité sur les capteurs solaires

Désignation	λ (w/m °K)	ρ (Kg/m ³)	Température maxi d'utilisation	Observation
Laine de verre	0.034à0.053	70	150	Sensible à l'humidité
Mousse de Verre	0.057	123	150	Sensible à l'humidité
Bois	0.13à0.4	123	150	
Liège exposé	0.045	100		
polystyrène	0.042	15	85	Moulé comprimé
polyuréthane	0.035	35	85	Moulé comprimé

Tableau II.2 propriété des matériaux [16]

II.4.2.4. Le fluide caloporteur :

Le fluide caloporteur est utilisé dans le circuit primaire de capteur solaire a pour rôle de véhiculer la chaleur cédée par l'absorbeur, différents fluides peuvent être utilisée mais doit satisfaire a des certains conditions :

- 1-Grande capacité calorifique.
- 2-Faible viscosité.
- 3-Coefficient de transfert thermique élevé.
- 4-Haute point de d'ébullition est bas point de congélation.
- 5-Degré d'agressivité faible devant les matériaux constituant le capteur.

Les fluides caloporteurs plus utilisée sont :

- l'air :

L'air comme agent de transport de calories a un grand avantage par son abondance et sa gratuité, est par l'absence des problèmes de gel et de corrosion ce qui donne au capteur une grande durée de vie est moins de travaux d'entretien.

Mais pour transporter une quantité raisonnable d'énergie il faut utiliser des volumes d'air très importants.

- l'eau :

Un excellent fluide caloporteur pour sa chaleur massique mais le risque de gel pendant les nuits d'hiver et le risque d'ébullition en cas haute température pose des problèmes.

La naissance des couches de tartre dans les canalisations au fil de temps dim

Les capteurs solaires plans convertissent l'énergie solaire reçue par rayonnement en énergie thermique exploitable à l'aide d'un fluide caloporteur(gaz ou liquide) en écoulement qui emporte cette énergie par convection à travers la surface d'échange thermique.

On distingue deux catégories :

- Capteur plan à eau.
- Capteur plan à air.

II.5. Capteur plan à eau

Dans les capteurs thermiques à eau, l'eau ou plus souvent un liquide caloporteur, circule dans des tubes en circuit fermé.

Pour obtenir un meilleur rendement, les tubes peuvent être "sous-vide" c'est-à-dire que la surface des tubes est double et qu'entre ces deux couches est fait le vide. Ceci permet d'obtenir un effet de serre.

Les capteurs solaires thermiques peuvent également se résumer à une simple surface vitrée sous laquelle circule le liquide caloporteur dans un circuit fermé.

CHAPITRE II : Généralité sur les capteurs solaires

Ce système représente la première technologie de capteurs, la moins performante actuellement. L'absorbeur est alors placé à l'intérieur du tube ou sous la plaque vitrée, il est chauffé par le rayonnement solaire et transmet la chaleur au liquide caloporteur qui circule dans les tubes.

Les capteurs solaires à eau sont utilisés pour produire de l'eau chaude sanitaire (ECS) dans un chauffe-eau solaire individuel (CESI).

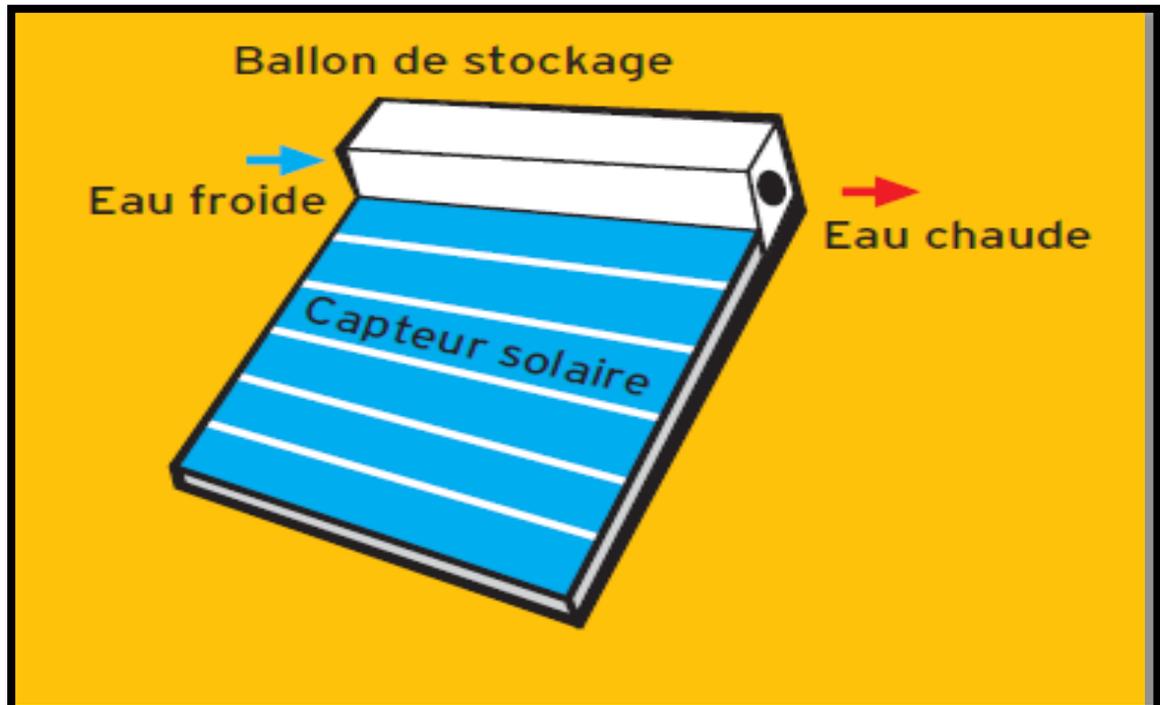


Figure II- 8 : Schéma d'un capteur plan à eau[18]



Figure II- 9 : Photo représentant un Chauffe-eau solaire[18]

II.6. Description des capteurs solaires plans à air :

II.6.1. Introduction :

L'énergie émise par le soleil voyage jusqu'à la Terre sous forme de rayonnement électromagnétique.

Ce rayonnement est semblable aux ondes radioélectriques mais il possède une gamme de fréquence différente.

L'intérêt du solaire est sensiblement le même sur tout le territoire. L'ensoleillement est plus fort dans le Sud, mais dans le Nord, les besoins en chauffage sont plus importants et plus étalés sur l'année.

L'énergie peut être récupérée par des capteurs solaires thermiques.

CHAPITRE II : Généralité sur les capteurs solaires

Le flux solaire peut être directement converti en chaleur par l'intermédiaire de capteurs solaires thermiques.

Cette technique est applicable au chauffage des habitations, des piscines, à la production d'eau chaude sanitaire, ou encore au séchage des récoltes (fourrage, céréales, fruits).

II.6.2. Capteur plan à air : (capteur aérothermique)

Les types de capteurs solaires sont très divers même si leur composition reste approximativement la même [19].

On distingue trois grandes catégories de capteurs plans à air :

- 1- capteurs à absorbeur plan.
- 2- capteurs à absorbeur perméable.
- 3- capteurs à absorbeur à géométrie variable.

II.6.2.1. Capteurs à absorbeur plan :

L'absorbeur est une plaque en tôle plane, leur variété réside dans le nombre des veines d'écoulement d'air.

On distingue quatre types de capteurs selon leurs modes d'écoulement :

- Type 1 avec écoulement d'air au-dessus de l'absorbeur.
- Type 2 avec écoulement en dessous l'absorbeur.
- Type 3 avec l'écoulement des deux côtés de l'absorbeur de même sens.
- Type 4 avec l'écoulement des deux côtés de l'absorbeur au sens contraire.

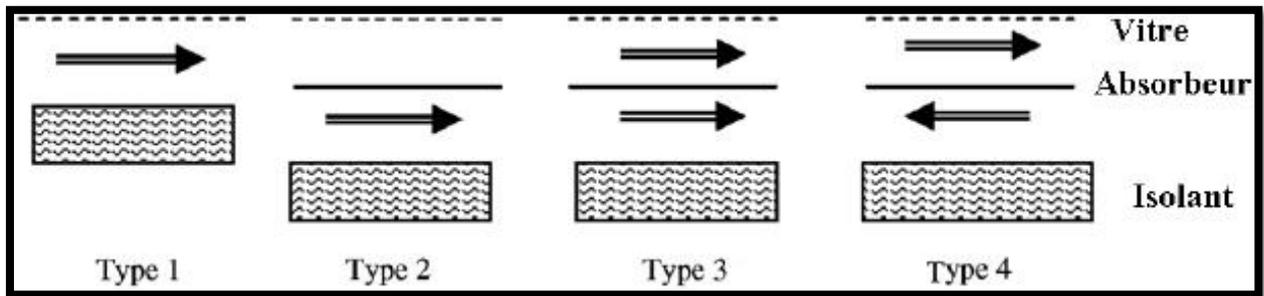


Figure II- 10 : Les types génériques principaux d'écoulements [20]

II.6.2.2. Capteurs à absorbeur perméable :

L'amélioration du rapport surface d'échange sur projection de la surface d'absorbeur consiste à utiliser un absorbeur poreux.

On peut utiliser à cet effet du tissu noir, de la fibre de verre noircie, des écrans rainurés et étirés, de la laine d'acier ou des assemblages de lamelles.

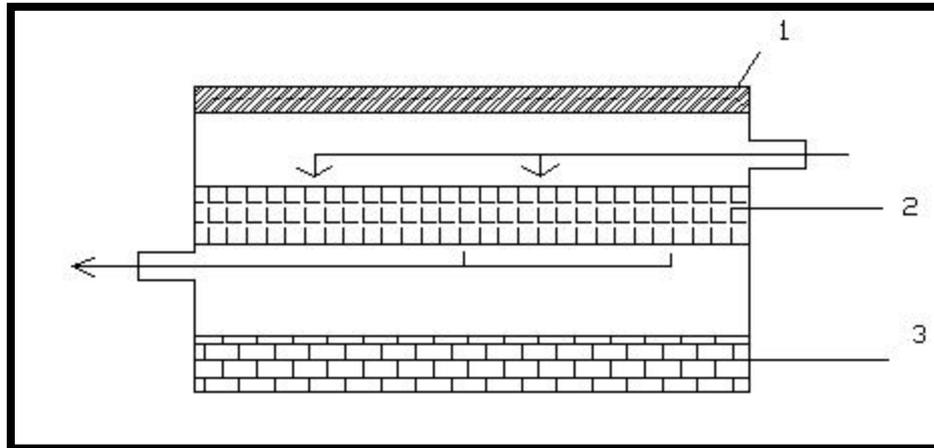


Figure II- 11 : Capteurs à absorbeur perméable [21]

1-vitre.

2-absorbeur poreux.

3-isolant.

II.6.2.3. Capteurs à absorbeur à géométrie variable :

Si l'on veut utiliser le vitrage comme une garde pour réduire les pertes de chaleur il faut que le transfert de chaleur ait lieu entre le dos de l'absorbeur et l'air. L'absorbeur constitue alors la paroi frontale du canal d'air et le revêtement intérieur de l'isolation constitue le fond du canal. On peut augmenter la surface d'échange de chaleur soit en donnant un pouvoir émissif élevé au dos de l'absorbeur et à la face interne de l'isolation, soit en donnant à l'absorbeur une surface striée ou rainurée.

Les formes les plus utilisées sont les suivantes :

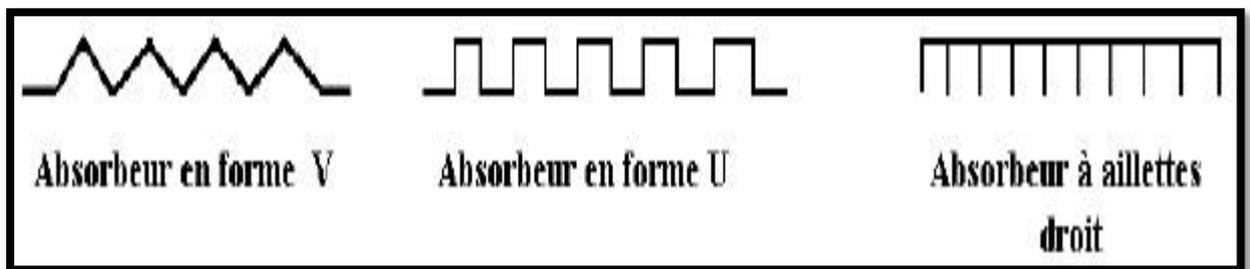


Figure II- 12 : différents type d'absorbeur [22]

II.6.3. Performance est exposition :

La performance d'un capteur est liée à son exposition solaire, il s'agit de son orientation optimale plein sud et de l'absence d'ombre au cours de la journée.

L'inclinaison aussi va jouer en fonction des saisons, un capteur présentant une faible pente sera très exposé en été lorsque le soleil sera bien haut par contre sera peut adapter pour un fonctionnement hivernal [23].

II.7. Applications des capteurs solaires plans à air :

II.7.1. Chauffages et climatisation des habitations :

Le principe est présenté sur la Figure I.14, consiste à chauffer le fluide dans le capteur solaire, l'air est véhiculé par ventilateur vers des points d'utilisations.

CHAPITRE II : Généralité sur les capteurs solaires

- 1- Capteur solaire plan à air
- 2- Filtre
- 3- Ventilateur
- 4- Entrées d'air
- 5- Sorties d'air

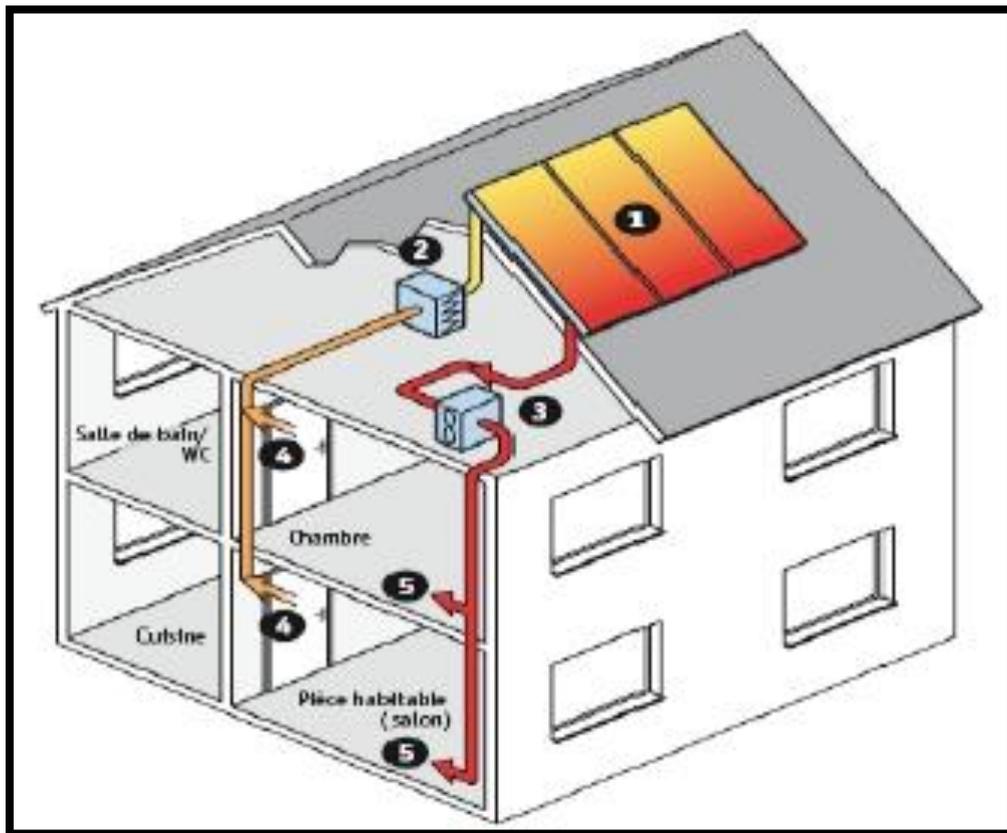


Figure II- 13 : Chauffage et climatisation des habitations [24]

Le système de capteur solaire à air s'intègre dans l'habitat de façon modulaire et complète les systèmes de chauffage existants. Il permet de réaliser des économies substantielles d'énergie et d'améliorer le bilan thermique des bâtiments sur la période hivernale et en mi-saison en apportant une source complémentaire de chauffage. Une régulation fait circuler l'air des locaux à travers le panneau dès que la température interne du panneau permet d'obtenir un gain significatif.

II.7.2. Le séchage :

Utilisation des capteurs solaire à air pour le séchage des récoltes est idéale dans le cas du thé, du café, des fruits, des fèves, du riz, des épices, du caoutchouc, du cacao et du bois.

-Les capteurs plans à air sont munis d'une couverture transparente qui laisse passer la plus grande partie du rayonnement solaire et évitent le refroidissement de l'absorbeur. Les échanges par convection entre celui-ci et la couverture transparente sont réduits, de même que l'émission du rayonnement infrarouge de l'absorbeur. C'est le principe de « l'effet de serre ».

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

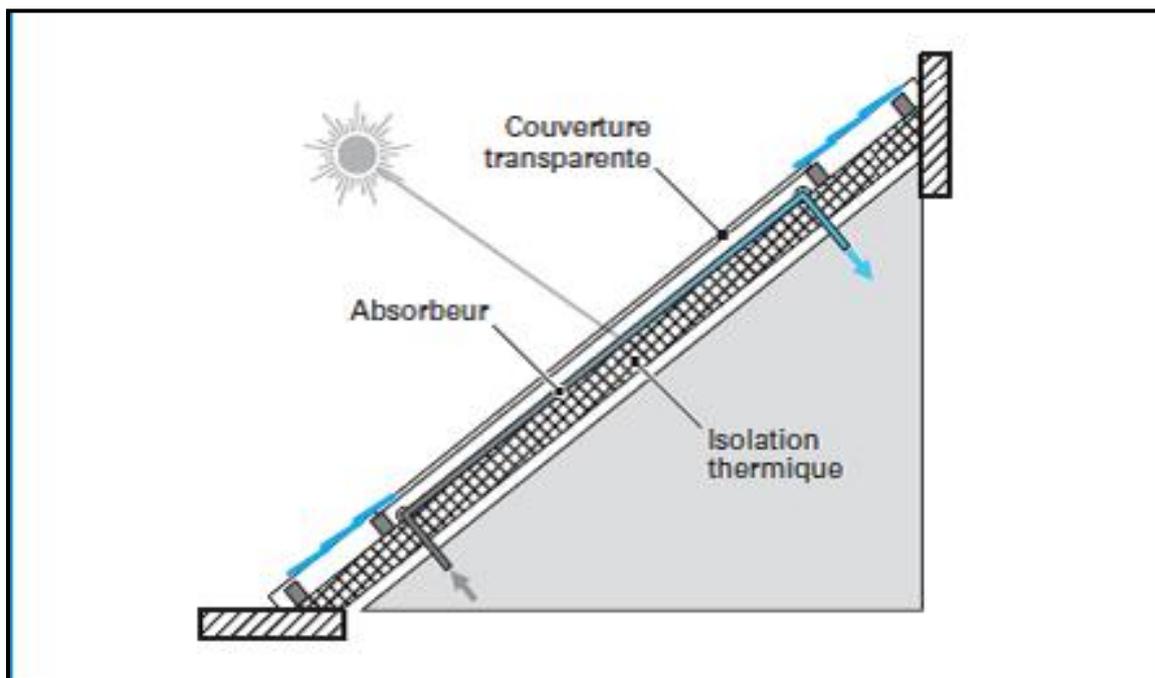


Figure II- 14 : Schéma d'un capteur plan à air incliné.[25]



Figure II- 15 : Photo représentant un Chauffage d’habitat par un capteur plan à air

II.8. Conclusion :

La chaleur du soleil nous parvient à travers les couches de l’atmosphère, donc de l’air.

Or, malgré ses faibles caractéristiques thermo-physiques, l’air peut facilement être utilisé comme fluide caloporteur, dans un système isolateur, vitré ou non. Il est donc capable de contribuer directement au chauffage partiel des locaux, au préchauffage des systèmes de ventilation ou encore au séchage de nombreux produits agro-alimentaires.

CHAPITRE III
Bilan Énergétique

III.1 Introduction :

Les capteurs solaires fonctionnent dans les états équilibrés.

Dans ces conditions, la résolution des équations des transferts thermiques peut être réalisée par des méthodes numériques ou par méthodes dites approximatives basées sur des corrélations empiriques.

III.2 Comportement des corps vis-à-vis du rayonnement :

Caractérise le comportement de chaque corps vis-à-vis du rayonnement par trois coefficients :

- La réflectivité (ρ) $\rho = \frac{\text{énergie réfléchie}}{\text{énergie incidente}}$ (III. 1)

- L'absorption (α): $\alpha = \frac{\text{énergie absorbée}}{\text{énergie incidente}}$ (III. 2)

- La transmissivité (τ) $\tau = \frac{\text{énergie transmise}}{\text{énergie incidente}}$ (III. 3)

On pourra remarquer que pour tous les corps :

$$\rho + \alpha + \tau = 1 \quad (III. 4)$$

➤ Cas particulier :

$\rho = 1$ Miroir parfait

$\alpha = 1$ Corps noir parfait

$\tau = 1$ Transparent parfait

III.3 réflexion des radiations :

Soit n_1 et n_2 les indices de réfraction de deux milieux. Un rayon frappant l'interface avec un angle d'incidence θ_i , sera partiellement réfracté, les angles d'incidence, de réflexion et de réfraction sont liés par la loi de Descartes.

$$n_1 \sin \theta_i = n_2 \sin \theta_r \quad (III. 5)$$

$$\theta_i = \theta_p \quad (III. 6)$$

La réflectivité monochromatique directionnelle hémisphérique ρ_λ est donnée par les formules de Fresnel, soit

➤ Pour une onde polarisée parallèlement au plan d'incidence :

$$\rho_\lambda(\text{parallèlement}) = \frac{\text{tg}^2(\theta_i - \theta_r)}{\text{tg}^2(\theta_i + \theta_r)} \text{tg}^2(\theta_i - \theta_r) \quad (III. 7)$$

➤ pour une onde polarisée perpendiculairement au plan d'incidence :

$$\rho_\lambda(\text{perpendiculairement}) = \frac{\sin^2(\theta_i - \theta_r)}{\sin^2(\theta_i + \theta_r)} \quad (III. 8)$$

La réflectivité est donnée par :

$$\rho\lambda = \frac{1}{2}[\rho\lambda(\text{parallèlement}) + \rho\lambda(\text{perpendiculairement})] \quad (III.9)$$

III.4 Coefficient de transmission de vitre[26] :

Pour ce coefficient ; il faut tenir compte des pertes optiques par réflexion et absorption des radiations solaires au niveau de la vitre. il en résulte deux coefficients de transmission, l'un du à la réflexion des rayonnements, l'autre à l'absorption.

La transmissivité totale de la vitre sera égale au produit de ces deux coefficients (τ_p, τ_α).

- Coefficient de transmission du à la réflexion des rayonnements (τ_p) :

$$\tau_p = \frac{1}{2} \left[\frac{1 - \rho}{1 + (2.N - 1).\rho} + \frac{1 - \rho}{1 + (2.N - 1).\rho} \right] \quad (III.10)$$

N : nombre de vitre dans le capteur.

- Coefficient de transmission du à l'absorption des rayonnements (τ_α) :

$$\tau_\alpha = \exp[-(K_e \cdot L) / \cos\theta_\tau] \quad (III.11)$$

K_e : Coefficient d'extinction

L : Epaisseur de la vitre

θ_τ : Angle de réfraction

- Le coefficient total de transmission de la vitre est égal à :

$$\tau = \tau_p \cdot \tau_\alpha \quad (III.12)$$

4. Effet des réflexions multiples :

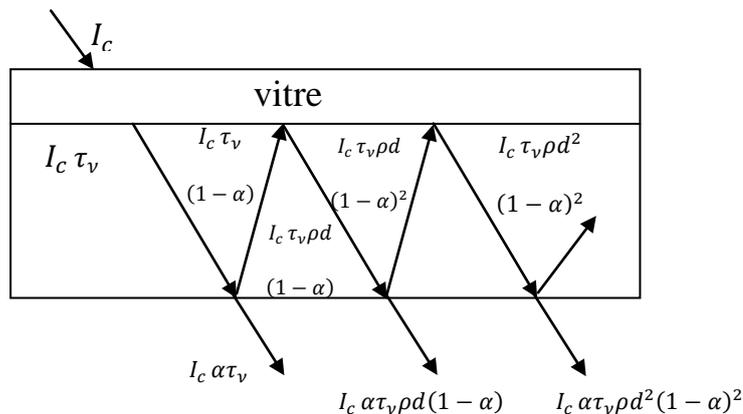


Figure III.1 : schéma des réflexions des rayonnements

I_c : Le flux incident sur la surface du capteur.

ρd : Coefficient de réflexion hémisphérique du vitrage.

τ_v : Facteur de transmission hémisphérique du vitrage.

$1 - \alpha$: Coefficient de réflexion de l'absorbeur.

α : Coefficient d'absorption de l'absorbeur.

Le flux incidence sur la surface du capteur va se composer en :

$\tau_v \cdot I_c$: Le flux transmis et arrivant à la surface de l'absorbeur.

$\tau_v \cdot \alpha \cdot I_c$: Le flux absorbé par l'absorbeur.

$\tau_v \cdot (1 - \alpha) \cdot I_c$: Le flux réfléchi par l'absorbeur vers la vitre.

$(1 - \alpha) \cdot I_c \cdot \rho_d \cdot \tau_v$: Le flux réfléchi par la vitre l'absorbeur.

III.6 Flux global reçu sur un plan horizontal[26] :

$$I_h = I_{h\ dif} + I_{dir} \cdot \sinh \quad (III.13)$$

$I_{h\ dif}$: Flux direct reçu une surface horizontale.

$$I_{h\ dir} = B \cdot \exp\left(\frac{-P \cdot A}{P_0 \cdot \cos \theta_z}\right) \quad (III.14)$$

Avec :

$$\theta_z = \frac{\pi}{2} - h: \text{Angle zenital} \quad (III.15)$$

$$\frac{p}{p_0} \exp(-0.0001184 \cdot \text{altitude}) \quad (III.16)$$

A : Coefficient de trouble caractérisant le sol ou bien le coefficient d'extinction.

B : L'intensité de l'éclairement hors atmosphère.

$$B = 0.88 \cdot I_0 \cdot C \quad (III.17)$$

Avec :

C : Coefficient de distance terre-soleil.

$$C = 1 + 0.034 \cos(30 \cdot (M - 1) + n) \quad (III.18)$$

n : Numéro du mois.

$I_{h\ dif}$: Flux diffus reçu sur une surface horizontale.

$$I_{h\ dif} = \sinh(I_0 \cdot C \cdot 0,271 - 0,2939 \cdot I_{h\ dir}) \quad (III.19)$$

III.7 Flux globale reçu sur un plan incliné[26]:

$$I_c = I_{c \text{ dir}} + I_{c \text{ dif}} \quad (III.20)$$

$I_{c \text{ dir}}$: Flux direct reçu sur une surface inclinée.

$$I_{c \text{ dir}} = I_{h \text{ dir}} \cdot \cos\theta_i \quad (III.21)$$

θ_i : Angle d'incidence.

$I_{c \text{ dif}}$: Flux diffus reçu sur une surface inclinée.

$$I_{c \text{ dif}} = I_{h \text{ dif}} \cdot \left(\frac{1 + \cos i}{2}\right) + I_{h \text{ ALB}} \left(\frac{1 - \cos i}{2}\right) \quad (III.22)$$

III.8 calcul du produit transmissivité-absorption global :

➤ **Produit transmissivité-absorptivité direct $(\tau\alpha)_{dir}$:**

$$(\tau\alpha)_{dir} = \tau \cdot \alpha \cdot \sum ((1 - \alpha) \cdot \rho d)^n \quad (III.23)$$

Avec :

α : Coefficient d'absorption de la plaque.

$$\alpha = \alpha_n \cdot (\cos\theta_i)^{0.25} \quad (III.24)$$

α_n : Coefficient d'absorption à une incidence normale(90°).

ρd : Coefficient de réflexion diffus en pratique.

$$\rho d = \tau\alpha - \tau \quad (III.25)$$

➤ **Produit transmissivité-absorptivité diffus $(\tau\alpha)_{dif}$:**

$$(\tau\alpha)_{dif} = \frac{\tau\alpha}{1 - (1 - \alpha) \cdot \rho d}$$

$$\alpha = \alpha_n \cdot (\cos\psi_c)^{0.25} \quad (III.26)$$

$$\psi_c = 59.68 - 0.1388 \cdot i + 0.001497 \cdot i^2 \quad (III.27)$$

ψ_c : angle d'incidence formé par le rayonnement diffus de ciel avec la normale du collecteur.

➤ **Produit transmissivité-absorptivité diffus $(\tau\alpha)_{ref}$:**

$$(\tau\alpha)_{ref} = \frac{\tau\alpha}{1 - (1 - \alpha) \cdot \rho d} \quad (III.28)$$

CHAPITRE III : Bilan Énergétique

$$\alpha = \alpha_n \cdot (\cos \psi_s)^{0.25} \quad (III. 29)$$

$$\psi_s = 90 - 0.5788 \cdot i + 0.0026093 \cdot i^2 \quad (III. 30)$$

ψ_s : Angle d'incidence formé par le rayonnement diffus du sol avec la normale du collecteur.

Le produit transmissivité- absorptivité global ($\tau\alpha$) est :[26]

$$(\tau\alpha) = \frac{(\tau\alpha)_{dir} (I_h \cdot I_{h\ dif}) \cdot R_b + (\tau\alpha)_{dif} \cdot R_c \cdot I_{h\ dif} + (\tau\alpha)_{ref} \cdot R_s \cdot I_h}{I_c} \quad (III. 31)$$

$$R_b = \frac{\cos \theta_i}{\sin h} \quad (III. 32)$$

$$R_c = \frac{(1 + \cos i)}{2} \quad (III. 33)$$

$$R_s = \frac{ALB(1 - \cos i)}{2} \quad (III. 34)$$

III.9 Bilan énergétique[27,28,29,30] :

Le Bilan énergétique d'un capteur plan s'obtient simplement en écrivant que l'énergie absorbée Q_a se répartie en :

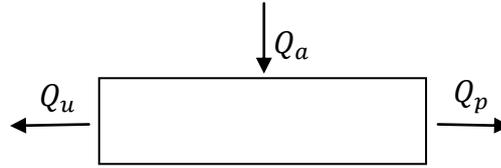


Figure III.2 : bilan énergétique

Q_u : Energie utile extraite de l'absorbeur par le fluide caloporteur.

Q_p : Energie perdue par le capteur vers l'environnement.

dQ_s : Energie stockée sous forme de chaleur vive dans les différents éléments du capteur on a donc :

$$Q_a = Q_u + Q_p + \frac{dQ_s}{dt} \quad (III. 35)$$

En régime permanent établit l'équation s'écrit :

$$Q_a = Q_u + Q_p \quad (III. 36)$$

Car le régime permanent est un régime qui ne varie pas avec le temps, donc l'accroissement

$$\frac{dQ_s}{dt} = 0.$$

$$Q_a = I_c \cdot (\tau\alpha) \cdot A_c \quad (III.37)$$

$$Q_p = A_c \cdot U_L \cdot (T_p - T_a) \quad (III.38)$$

I_c : Flux incident pour une surface inclinée.

A_c : Surface de captation. [m²]

$\tau\alpha$: Paramètre caractérisant la fonction d'énergie absorbée par la plaque de l'énergie solaire incidente.

U_L : Coefficient global des pertes.

T_p : Température de la plaque absorbante.

T_a : Température ambiante.

III.9.1 Rendement instantané du capteur :

D'après l'analyse de JP.CHOUARD, H.MICHEL, M.F.SIMON et R.MARCHAL [27,28], ce rendement est défini comme étant le rapport entre l'énergie utile réellement extraite du système est l'éclairement solaire global incident sur le capteur.

$$\eta_{ins} = \frac{Q_u}{I_c \cdot A_c} \quad (III.39)$$

A_c : Surface de captation.

I_c : L'éclairement solaire incident.

III.9.2 Rendement journalier du capteur :

Le rendement journalier du capteur est défini par :

$$\eta_j = \frac{\sum Q_u}{A_c \cdot \sum I_c} \quad (III.40)$$

Ou bien
$$\eta_j = \frac{\int_0^t Q_u dt}{A_c \int_0^t I_c dt} \quad (III.41)$$

III.9.3 Rendement optique du capteur :

Il est défini comme étant le rapport entre l'énergie absorbée par la plaque et le flux incident sur le capteur :

$$\eta_0 = \frac{Q_a}{I_c \cdot A_c} \quad (III.42)$$

III.9.5 Température de sortie du fluide caloporteur (T_{fs}):

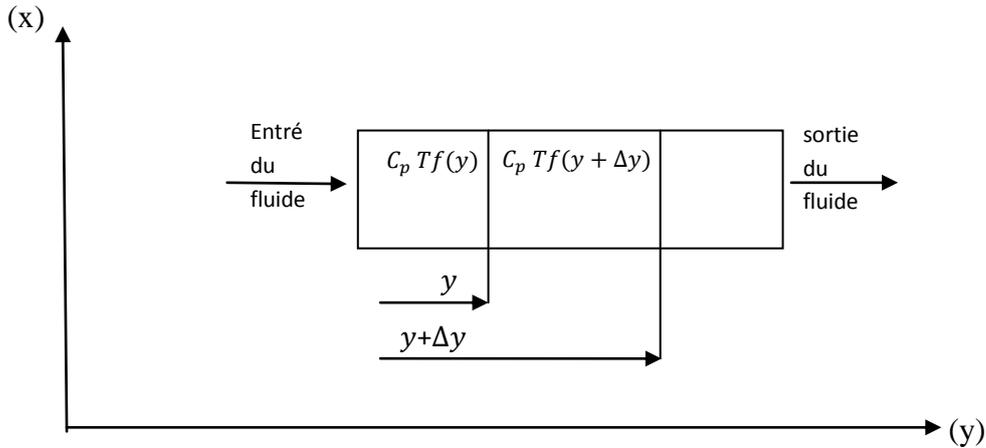


Figure III.3 : schéma de sens de fluide

Bilan sur un élément du fluide caloporteur d'après la loi de conservation de l'énergie, on a

$$Q_u(y)dy = \dot{m}C_p \cdot [T_f(y + dy) - T_f(y)] \quad (III.55)$$

$$Q_u(y) = \dot{m}C_p \frac{dT_f(y)}{dy} \quad (III.56)$$

En égalisant 48 et 56 on aura :

$$F_f \cdot WT \cdot [Q_a - U_L \cdot (T_{fm}(y) - T_a)] = \dot{m}C_p \frac{dT_f(y)}{dy} \quad (III.57)$$

$$\ln \left(T_{fm}(y) - T_a - \frac{Q_a}{U_L} \right) = - \frac{F_f U_L W_t \cdot y}{\dot{m}C_p} + C_1 \quad (III.58)$$

$$\text{Au point } = 0, \text{ on a } T_{fm}(0) = T_{fe} C_1 \rightarrow \ln \left(T_{fe} - T_a - \frac{Q_a}{U_L} \right) \quad (III.59)$$

Alors (III.58) devient :

$$\ln \frac{T_{fm}(y) - T_a - \frac{Q_a}{U_L}}{T_{fe} - T_a - \frac{Q_a}{U_L}} = - \frac{F_p U_L W \cdot y}{\dot{m} \cdot C_p} \quad (III.60)$$

Au point $y = L$, on a $T_{fm}(L) T_{fe}$

Finalement la température de sortie du fluide est :

$$T_{fs} = \left[T_{fe} - T_a - \frac{Q_a}{U_L} \right] \cdot e^{-\left(\frac{F_f U_L W \cdot L}{\dot{m} \cdot C_p} \right)} + T_a + \frac{Q_a}{U_L} \quad (III.61)$$

III.9.6 Facteur de conductance du capteur (F_R) :

CHAPITRE III : Bilan Énergétique

$$F_R = \frac{\dot{m} \cdot C_p (T_{fs} - T_{fe})}{A_c [I_c \cdot \eta_0 - U_L \cdot (T_{fe} - T_a)]} \quad (III. 62)$$

D'où la relation importante donnant Q_u en fonction de la température d'entrée du fluide.

$$Q_a = A_c \cdot F_R \cdot [I_c \cdot \eta_0 - U_L \cdot (T_{fe} - T_a)] \quad (III. 63)$$

La température d'entrée T_{fe} est généralement, très proche de celle du stockage pour les cycles fermés cependant l'utilisation d'une température de référence T_i est possible, donc :

$$\eta_i = F_i \left[\eta_0 - U_L \cdot \frac{(T_i - T_a)}{I_c} \right] \quad (III. 64)$$

T_i : température de référence	F_i
T_a : température de l'absorbeur	1
T_{fe} : température d'entrée du fluide	F_r
T_{fs} : température de sortie du fluide	$F_0 = \frac{F_r}{1 - \frac{F_r U_L}{\dot{m} \cdot C_p}}$

Pour améliorer F_r , on doit :

- Diminuer les pertes U_L
- Augmenter F_f et par la suite h_i
- Augmenter le terme $\dot{m} \cdot C_p$

III.9.7 Température moyenne du fluide caloporteur (T_{fm}):

$$T_{fm} = T_{fe} + \frac{Q_u}{A_c U_L F_R} \cdot \left(1 - \frac{F_R}{F_f} \right) \quad (III. 65)$$

III.9.8 Température moyenne de l'absorbeur (T_{pm}) :

$$T_{pm} = T_{fe} + \frac{Q_u}{U_L F_R} \cdot (1 - F_R) \quad (III. 66)$$

III.9.9 Evaluation des pertes thermiques :

Pour évaluer toutes les pertes du capteur, on pose les hypothèses suivantes :

- Le régime est permanent

CHAPITRE III : Bilan Énergétique

- La puissance absorbée par la vitre est négligeable.
- La conduction dans la vitre est négligeable.

Ces pertes ont lieu suivant les trois modes de transfert thermique, soit :

Conducteur, convection et rayonnement.

Ces différentes pertes se divisent en trois catégories, soit :

- Pertes vers l'avant :
 - Pertes par convection entre absorbeur et vitrage.
 - Pertes par convection entre vitrage et air ambiant.
 - Pertes par rayonnement entre absorbeur et vitrage.
 - Pertes par rayonnement entre vitrage et le ciel.
- Pertes vers l'arrière :
 - Pertes par conduction à travers l'isolant.
 - Pertes par convection et rayonnement entre point extérieur et milieu ambiant.
- Pertes vers les cotés :
 - Pertes par convection et conduction

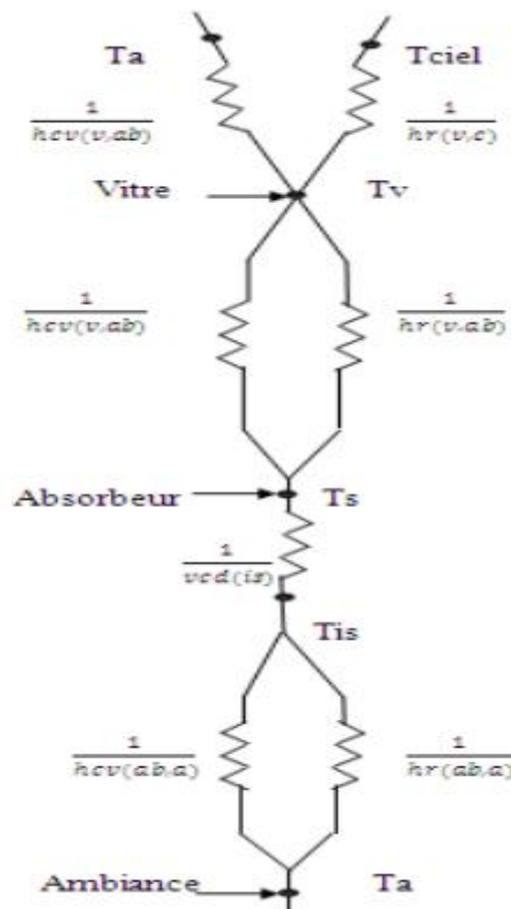


Figure III.4 : schéma électrique équivalent des échanges thermiques.

A. Coefficient de pertes vers l'avant :

Le Coefficient de pertes thermiques vers l'avant est donné par :

$$B. U_t = \left(\frac{1}{h_{c,p-v} h_{r,p-v}} + \frac{1}{h_{w-v} h_{r,v-a}} \right) \quad (III. 67)$$

- $h_w = h_{c,v-a}$ Coefficient de transfert de chaleur du au vent, il est calculé par la loi de M.DAGUENET [29]:

$$h_w = 5,67 + 3,86. V_v \quad (III. 68)$$

- Le Coefficient de pertes thermiques par rayonnement entre deux plaques i et j s'écrit [34] :

$$h_{r,ij} = \frac{\sigma(T_i^2 + T_j^2)(T_i T_j)}{\frac{1}{\varepsilon_i} + \frac{1}{\varepsilon_j} - 1} \quad (III. 69)$$

σ : Coefficient de Stéphane Boltzman.

ε : Coefficient d'émissivité entre deux plaques parallèles.

- Le coefficient de pertes par rayonnement entre le vitrage et le ciel est donné par :

$$H_{r,v-a} = \frac{\varepsilon_v \cdot \sigma(T_v + T_c)(T_v^2 + T_c^2)(T_v - T_c)}{(T_v - T_a)} \quad (III. 70)$$

Avec $T_c = 0.0522 \cdot (T_a)^{1.5}$ (III. 71) (T_c : température de ciel)

- Le coefficient de pertes par convection entre l'absorbeur et le vitrage lorsque l'inclinaison du capteur sur l'horizontal est inférieure à 75° , est donne par [33] :

$$h_{p-v} = \frac{Nu \cdot K_a}{dh} \quad (III. 72)$$

Avec

$$K_a = \frac{P_r \cdot \nu}{C_p} \quad (III. 73)$$

ν : Viscosité cinématique de l'air.

C_p : Capacité calorifique de l'air.

K_a : Conductivité de la lame d'air.

dh : Epaisseur de la lame d'air d'après

Pour le calcul de Nusselt , on peut retenir la corrélation de M.DAGUENET [29] :

CHAPITRE III : Bilan Énergétique

$$N_u = 1 + 1,44 \cdot \left(1 - \frac{1708}{R_a \cdot \cos i}\right) \cdot \left(1 - \frac{(\sin(1,8i))^{1,6} \cdot 1708}{R_a \cdot \cos i}\right) + \left(\frac{R_a \cdot \cos i}{5830} - 1\right)^{\frac{1}{3}} \quad (III.74)$$

R_a : Le nombre de RAYLEIGH est donné par la relation :

$$R_a = G_a \cdot P_r \quad (III.75)$$

On peut employer aussi la relation empirique de M.DAGUENET [29] qui s'est avérée plus simple pour le calcul de U_{av} à des températures de l'absorbeur comprises entre 0° et 200° avec une précision de 0,3[W/m²C°].

$$U_{av} = \left[\frac{1}{\frac{c}{T_p} \cdot \left[\frac{T_p - T_a}{N_v + f} \right]^e} \right]^{-1} + \frac{(T_p - T_a) \cdot (T_p^2 + T_a^2)}{(\varepsilon_p + 0,00591 \cdot N_v \cdot h_w)^{-1} + \frac{2 \cdot N_v + f - 0,133 \cdot \varepsilon_p}{\varepsilon_g} - N_v} \quad (III.76)$$

N_v : Nombre de vitrage.

f : Coefficient des pertes tenant compte de l'effet du vent.

$$f = (1 - 0,089 \cdot h_w - 0,116 \cdot h_w \cdot \varepsilon_p) \cdot (1 + 0,0766 \cdot N_v) \quad (III.77)$$

h_w : Coefficient de transfert thermique due au vent.

$$h_w = 5,7 + 3,8 \cdot V_v \quad (III.78)$$

V_v : Vitesse du vent.

ε_p : Emission de l'absorbeur.

ε_g : Emission du verre.

i : Angle d'inclinaison du capteur.

$$C = 520 \cdot (1 - 0,000051 \cdot i^2) \quad (III.79)$$

$$e = 0,43 \cdot \left(1 - \frac{100}{T_p}\right) \quad (III.80)$$

Les pertes vers l'avant sont données par :

$$q_{av} = U_{av} \cdot (T_p - T_a) \quad (III.81)$$

B. Coefficient des pertes vers l'arrière (U_{ar}):

$$U_{ar} = \frac{K}{e_i} \quad (III.82)$$

CHAPITRE III : Bilan Énergétique

K : Conducteur de l'isolant.

e_l : Epaisseur de l'isolant arrière.

Les pertes vers l'arrière sont données par :

$$Q_{ar} = U_{ar} \cdot (T_p - T_a) \quad (III.83)$$

C. Coefficient des pertes vers les cotés :

K_2 : Conductivité thermique de l'isolant latéral.

e_2 : Epaisseur de l'isolant sur les cotés du capteur.

A_e : Air latéral du capteur.

A_c : Surface de captation.

Les pertes par les cotés latéraux sont données par :

$$q_{lat} = U_{lat} \cdot (T_p - T_a) \quad (III.84)$$

Le coefficient des pertes totales est :

$$U_L = U_{av} + U_{ar} + U_{lat} \quad (III.85)$$

CHAPITRE IV

Résultats et Discussions

IV.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous allons présenter les résultats de l'influence des paramètres (grandeur géographique et astronomique) sur les performances de capteur solaire (l'angle d'inclinaison, l'angle d'incidence).

L'objectif de notre travail est de voir l'influence du rayonnement solaire et du débit massique sur l'efficacité thermique du capteur solaire.

La simulation numérique par le code de calcul permet d'obtenir l'influence du débit sur la température de sortie et l'évolution du rendement en fonction du débit.

Le code de calcul utilisé est celui du centre des Energies Renouvelables de Ghardaïa

IV .2.1 influence des différents paramètres sur l'angle d'incidence :

L'angle d'incidence du soleil par rapport à un plan incliné joue un rôle important dans la détermination de la quantité d'énergie transmise par la vitre et absorbée par la plaque. Étant donné que cet angle varie le long de la journée,

Par ailleurs, l'angle d'incidence en fonction de différents angles définissant la position du soleil, d'où la dépendance directe de l'énergie absorbée en fonction de l'angle d'incidence modifiée permettant la détermination du rendement du capteur le long de la journée.

Lors des tests, le capteur solaire est orienté face au sud, ce qui entraîne une déviation azimutale t nulle ($\gamma = 0$). [Revue des Energies Renouvelables SIENR'12 Ghardaïa (2012) 131 – 138[30]]

Les tests se sont déroulés du 1 septembre au 31 octobre. La déclinaison du soleil δ varie donc de 6.6° à 13.8° et ce en fonction du numéro du jour dans l'année.

Les tests se sont déroulés à midi TSV plus ou moins une heure, ce qui correspond à $\omega = 0$ et $\omega = \pm 15$ et ce conformément à la norme utilisée.

Lors des tests, l'angle d'inclinaison du capteur a été varié de 0 à 90° afin de faire varier l'angle d'incidence. [Revue des Energies Renouvelables SIENR'12 Ghardaïa (2012) 131 – 138[30]]

3.1 Zone d'étude

Le site de Ghardaïa, est caractérisé par un potentiel important en rayonnement solaire, avec un indice de clarté égale à 0.8 Ces caractéristiques sont:

- Latitude: 32,38°; - longitude: 3.81°; Altitude: 450 m

[Revue des Energies Renouvelables SIENR'12 Ghardaïa (2012) 131 – 138[30]].

Les tests expérimentaux ont été réalisés au sein de l'Unité de Recherche Appliquée en Renouvelables de Ghardaïa, conformément à la norme **EN 1297522006**

[Revue des Energies Renouvelables SIENR'12 Ghardaïa (2012) 131 – 138[30]]

Numéro du jour	cos(θ)	sin(θ)
240	0,82	0,6
250	0,87	0,5
260	0,91	0,35
270	0,94	0,18
280	0,96	0
290	0,96	-0,16
300	0,95	-0,29
310	0,93	-0,4

Tabl. IV.1: Evolution δ en fonction du numéro du jour

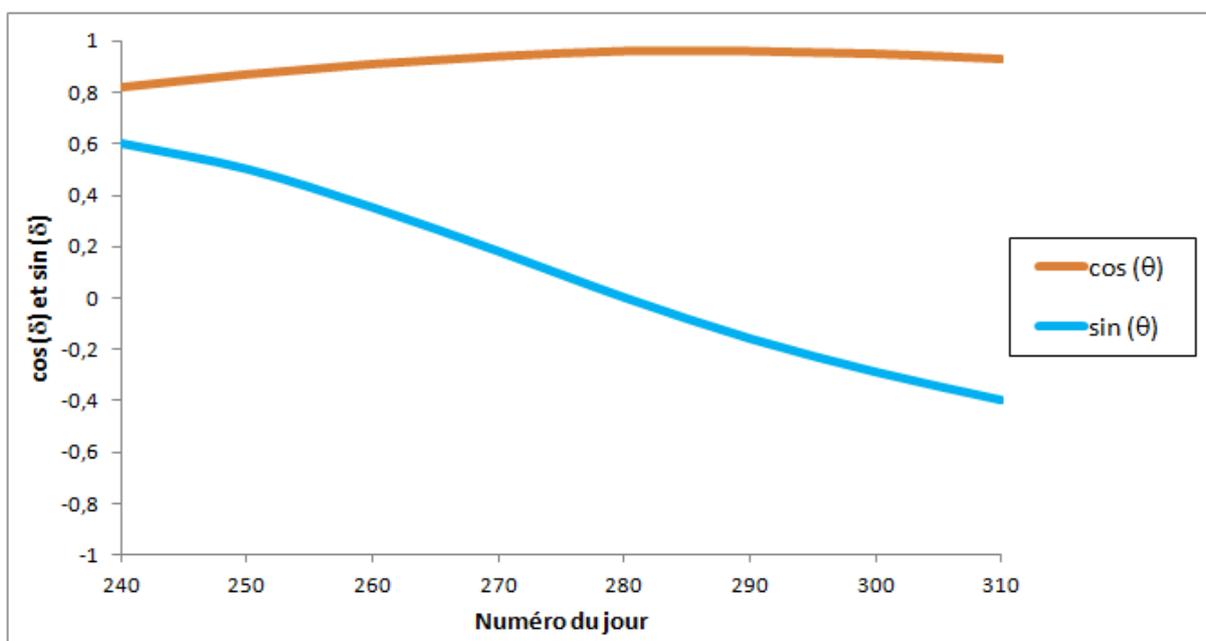


Fig. IV.1: Evolution δ en fonction du numéro du jour

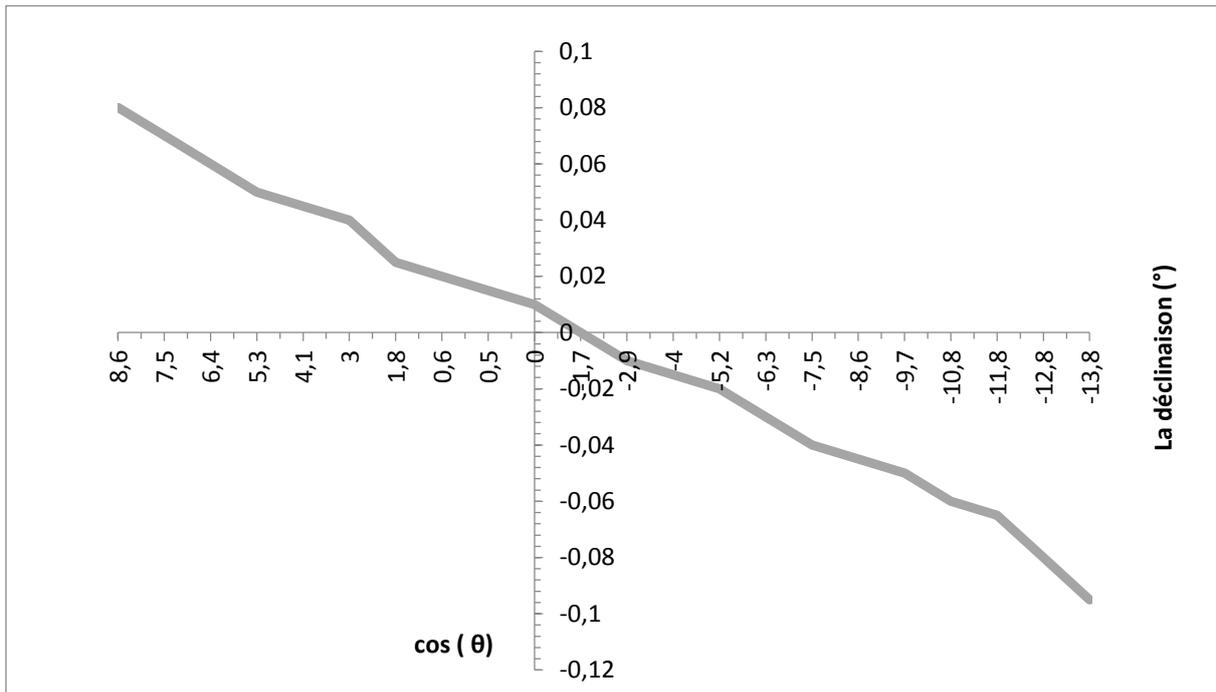


Fig. IV. 2: Evolution de $\cos (\theta)$ en fonction de δ



Fig. IV. 3: Evolution de $\cos (\omega)$ en fonction (ω)

Angle d'inclinaison (β)	$\cos(\theta)$
0	0,84
10	0,83
20	0,8
30	0,75
40	0,7
50	0,6
60	0,48
70	0,35
80	0,21
90	0,07

Tabl. IV. 2: Evolution de θ en fonction de β

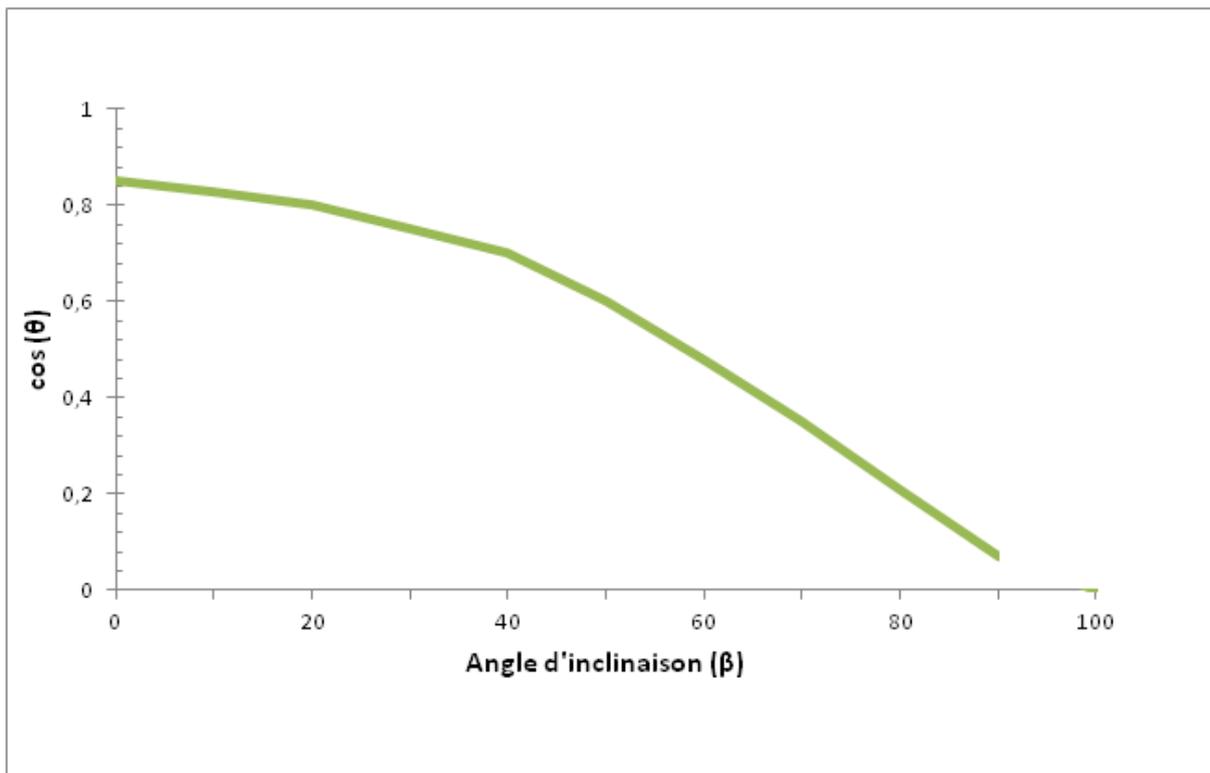


Fig. IV. 4: Evolution de θ en fonction de β

$\cos(\omega)$	$\cos(\theta)$
-15	-0,94
-13	-0,95
-11	-0,955
-9	-0,96
-7	-0,965
-5	-0,97
-3	-0,975
-1	-0,98
0	-0,982
1	-0,98
3	-0,975
5	-0,97
7	-0,965
9	-0,96
11	-0,955
13	-0,95
15	-0,94

Tabl. IV.3: Evolution de $\cos(\theta)$ en fonction de $\cos(\omega)$

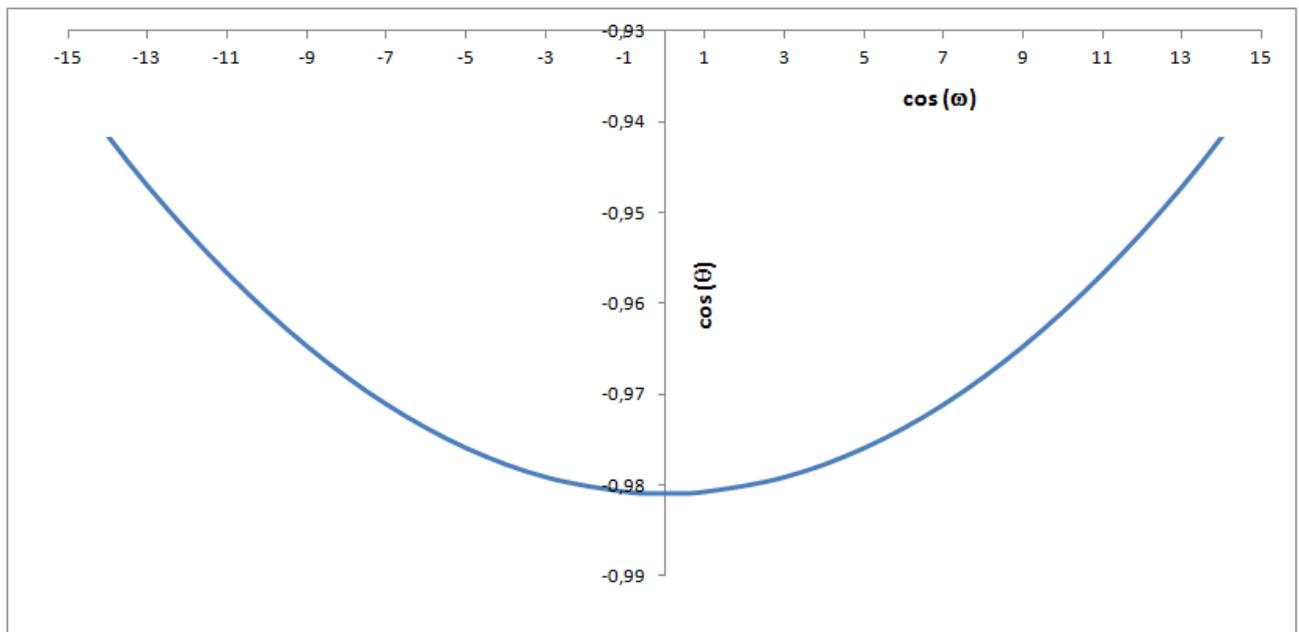


Fig. IV.5: Evolution de $\cos(\theta)$ en fonction de $\cos(\omega)$

IV .2. 2. remarques sur les graphes :

1. Les paramètres $\cos(\delta)$ et $\sin(\delta)$ influent peu sur l'expression de $\cos(\theta)$.
2. L'influence de la déclinaison du soleil n'influe pas beaucoup sur l'angle d'incidence durant les deux moins de test.
3. La valeur de $\cos(\theta)$ varie entre la valeur de -0.95 et $+0.98$, son minimum est atteint à midi TSV. En effet, ceci indique la faible influence de l'angle horaire sur l'angle d'incidence autour de midi TSV.

IV .3. Modelisation :

IV .3.1. Les paramètres radiatifs :

Le tableau IV.2 présente les différents paramètres radiatifs des différents composants du capteur solaire à air utilisés dans la simulation numérique.

Paramètres	Symboles	Valeurs
Coefficients d'absorption du vitrage	α_v	0.05
Coefficients de transmission du vitrage	τ_v	0.94
Emissivité du vitrage	ϵ_v	0.94
Coefficients d'absorption de l'absorbeur	α_a	0.95
Emissivité de l'absorbeur	ϵ_a	0.8
Emissivité de l'isolation	ϵ_i	1
Température ambiante	T_a	306

Tableau IV.4 : Paramètres radiatifs de différentes composantes du capteur solaire [36]

IV .3.2. Propriétés thermophysiques des différents composants du capteur :

Avant de présenter les propriétés thermophysiques des différents composants du capteur, il est important les citer :

- L'absorbeur est en aluminium, et qui représente la source de chaleur principale du capteur.
- La vitre est en verre qui constitue la couverture supérieure du capteur (paroi supérieure) qui provoque l'effet de serre.
- Les isolants en bois qui constitue les parois latérales.
- L'air à l'intérieur du capteur est situé entre la vitre et l'absorbeur.

IV .3.3. Propriétés thermophysiques de l'air :

Les propriétés thermophysiques de l'air sont présentées dans le tableau IV.3 :

Propriétés physiques	Symboles	Valeurs
Masse volumique (Kg.m^{-3}).	ρ_{air}	1.22
Chaleur spécifique ($\text{J.Kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$)	$C_{p\text{air}}$	1012
Conductivité thermique ($\text{J.m}^{-1}.\text{s}^{-1}.\text{K}^{-1}$)	λ_{air}	0.0242
Viscosité ($\text{Kg.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$)	μ_{air}	$1.7894.10^{-5}$

Tableau IV.5 : Propriétés thermo physiques de l'air [36].

IV .3.4. Propriétés de La vitre :

Les propriétés de la vitre sont présentées dans le tableau IV.4

Propriétés physiques	Symboles	Valeurs
Masse volumique (Kg.m^{-3}).	ρ_v	1375
Chaleur spécifique ($\text{J.Kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$)	C_{pv}	840
Conductivité thermique ($\text{J.m}^{-1}.\text{s}^{-1}.\text{K}^{-1}$)	λ_v	0.0263

Tableau IV.6 : Propriétés thermophysiques de la vitre [36]

IV .3.5. Propriétés de L'absorbeur :

Les propriétés de l'absorbeur sont présentées dans le tableau IV.5 :

Propriétés physiques	Symboles	Valeurs
Masse volumique (Kg.m^{-3}).	ρ_{abs}	2719
Chaleur spécifique ($\text{J.Kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$)	$C_{p\text{abs}}$	500
Conductivité thermique ($\text{J.m}^{-1}.\text{s}^{-1}.\text{K}^{-1}$)	λ_{abs}	237

Tableau IV.7 : Propriétés thermophysiques de l'absorbeur [36]

IV .3.6. Propriétés de L'isolation :

Les propriétés de l'isolation sont présentées dans le tableau IV.6

Propriétés physiques	Symboles	Valeurs
Masse volumique (Kg.m^{-3}).	ρ_{iso}	700
Chaleur spécifique ($\text{J.Kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$)	$C_{p\text{iso}}$	2310
Conductivité thermique ($\text{J.m}^{-1}.\text{s}^{-1}.\text{K}^{-1}$)	λ_{iso}	0.116

Tableau IV.8 : Propriétés thermophysiques de l'isolation [36]

IV .3.7. Hypothèses simplificatrices :

Pour rendre les équations mathématiques gouvernantes plus simples et plus faciles à résoudre, on fait les hypothèses suivantes:

→ L'écoulement est incompressible, instationnaire en régime laminaire.

→ Fluide visqueux newtonien.

→ Les propriétés thermo-physique du fluide ($C_{Pf}, \mu, \rho_f, \lambda_f$) et du solide ($C_{Ps}, \rho_s, \lambda_s$) sont constantes.

IV .3.8. Le code de calcul :

Le code de calcul que nous avons utilisé concernant l'étude de la source de chaleur produite par le capteur solaire plan à air, le code de calcul nous a permis d'étudier les performances thermiques instantanées de capteur et l'influence des paramètres aérothermique de l'air sur la température à la sortie de capteur d'une façon détaillée.

2. DESCRIPTIONS DE CONFIGURATION ETUDIEE :

Le capteur solaire à air étudié est un capteur à air à simple passe entre l'absorbeur et la vitre.

La figure représente les différents éléments de cet capteur.

Il est constitué d'une plaque noire (absorbeur), d'un isolant sur ses faces arrière et latérale, et recouvert par une plaque vitrée.

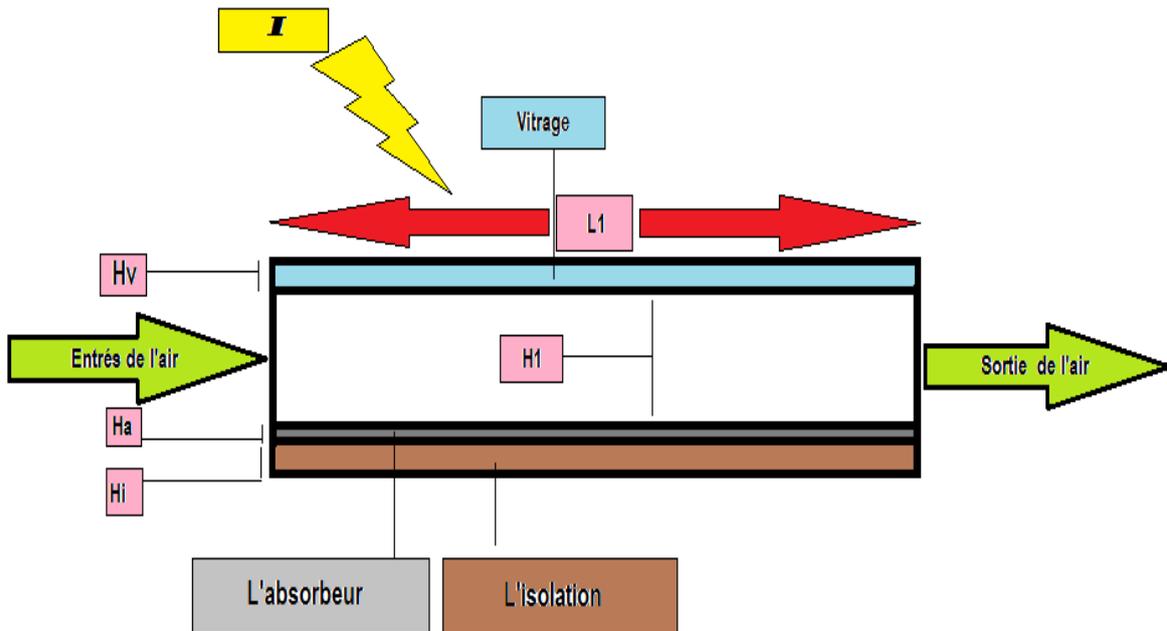


Figure . IV.6.1: Schéma du capteur solaire étudié. [36]



Fig. IV.6.2: Vue du banc d'essai [36]

Dimension	Symboles	Valeurs	Unités
Largeur du capteur	B	0.83	m
Langueur du capteur	L1	1.83	m
Hauteur de la conduite	H1	0.03	m
Epaisseur de l'absorbeur	Ha	0.002	m
Longueur de l'absorbeur	L1	1.83	m
Epaisseur du vitrage	H _v	0.004	m
Langueur du vitrage	L1	1.83	m
Epaisseur de l'isolation	H _i	0.05	m

Tableau IV.9 : Dimensions géométriques du capteur solaire [36].

IV .4.Résultats et discussions :

Le rayonnement solaire global G_i sur le plan incliné (Fig. 1) est calculé comme une fonction des données d'éclairement incident sur le plan horizontal.

On étudie ici une journée à ciel avec de nombreux passages nuageux (Fig.IV.7).

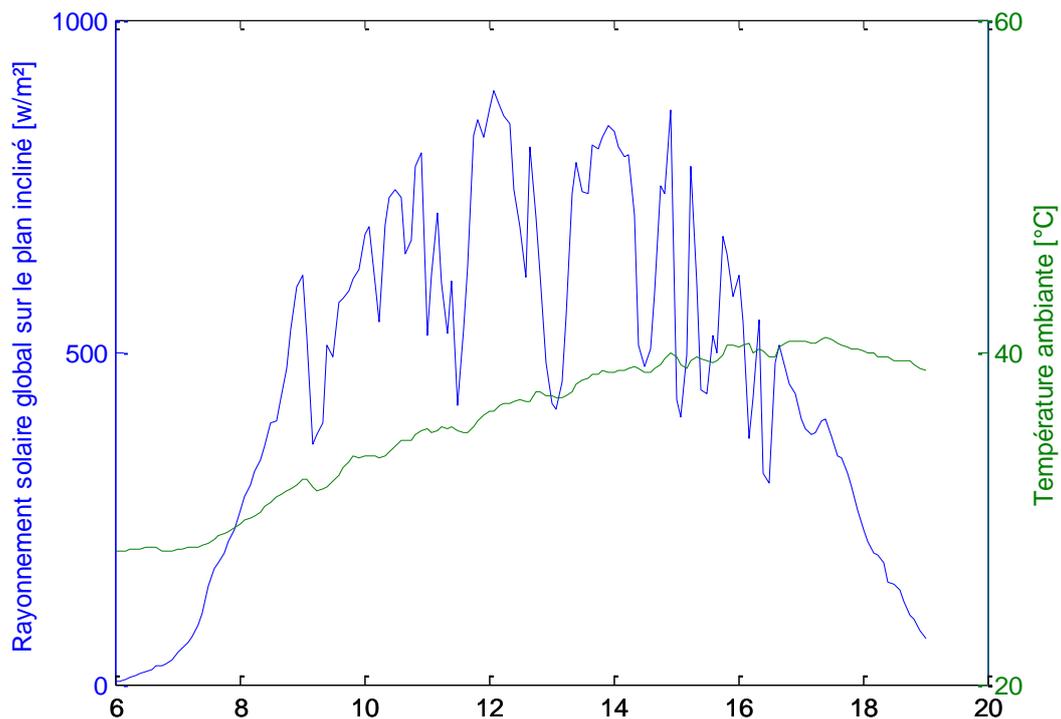


Fig.IV.7. Variation du flux solaire et de la température ambiante, le 17-05-2008 journée avec nombreux passages de nuageux.

La simulation à été faite pour des éclairagements variables le long de la journée ensoleillée. Les résultats de simulation illustrent l'évolution des isothermes à la sortie du capteur. La température de sortie du capteur solaire est un paramètre important pour les applications de ce dernier.

Nous remarquons que le passage nuageux constaté sur la variation du rayonnement global incident sur le capteur (Fig. IV.7) se fait immédiatement sentir sur les isothermes.

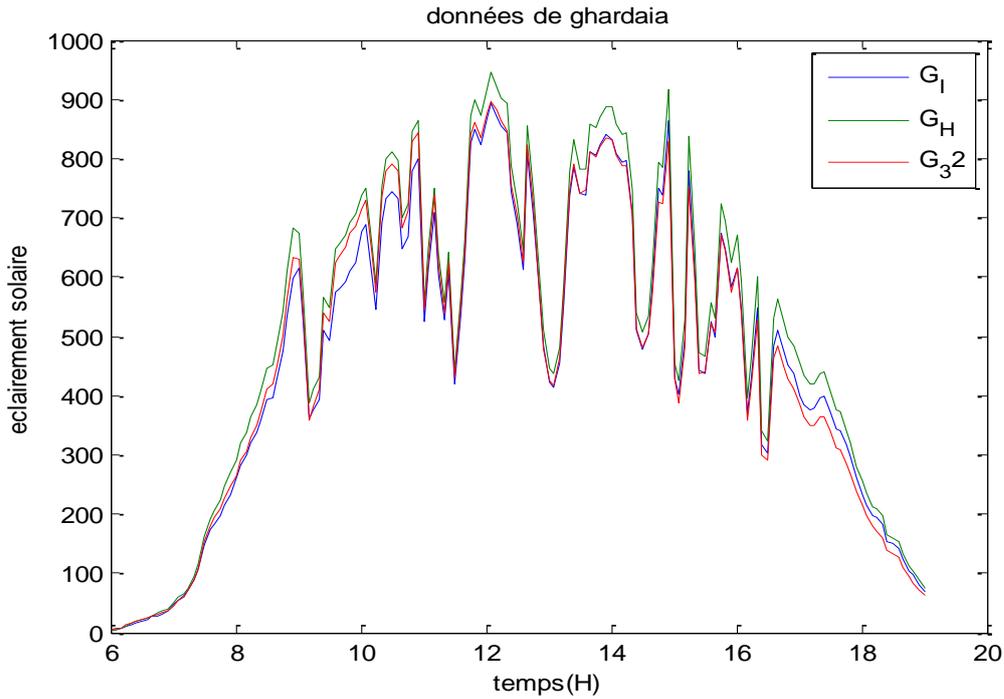


Fig.IV.8 La variation de la température en fonction de l'éclairement solaire le 15-07-2008.

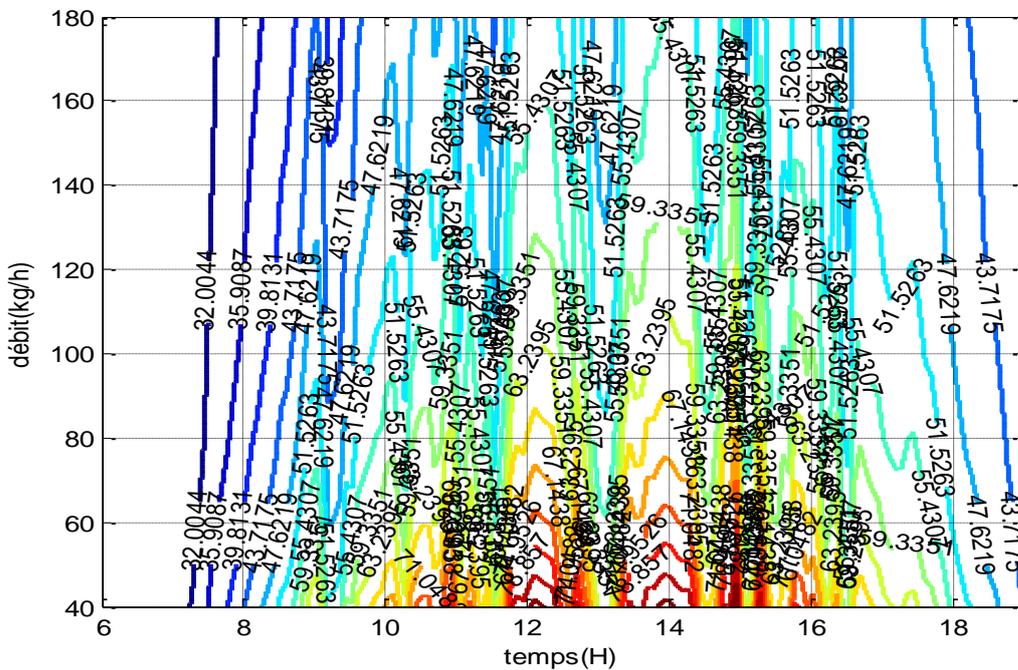


Fig. IV.9. 1 Observation des isothermes du 6h00 au 19h00 jusqu'à un débit de 180 kg/h, le 15-07-2008 journée avec nombreux passages de nuageux.

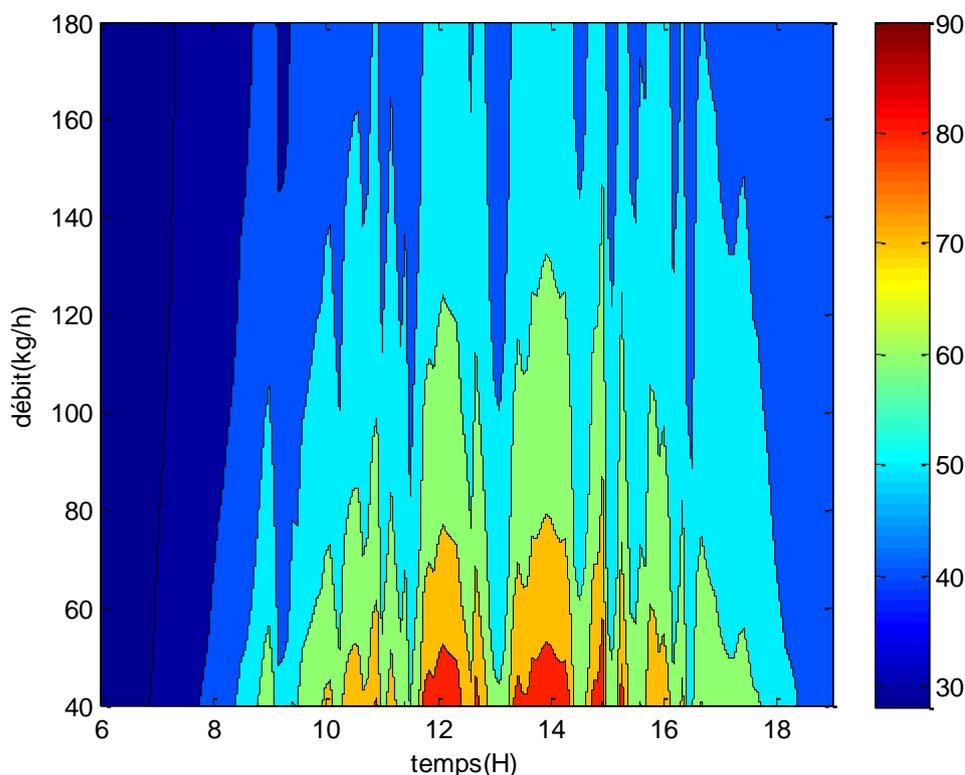


Fig. IV. 9. 2 Observation des isothermes du 6h00 au 19h00

jusqu'à un débit de 180 kg/h, le 15-07-2008 journée avec nombreux passages de nuageux.

Dans la Fig.IV.9. 1 et 2, les isothermes subit de nombreuses fluctuations dues aux passages nuageux ainsi qu'aux fluctuations de la température ambiante, le pic de la température à la sortie de capteur augmente avec la diminution de débit, comme prévu. Ces résultats nous ont permis d'optimiser le fonctionnement du capteur durant toute la journée par la régulation du débit d'air malgré les perturbations météorologiques indésirables en suivant les isothermes des Fig.IV.7

Ce code de calcul serait utile d'optimiser le fonctionnement du capteur à n'importe quel jour de l'année à l'aide des données météorologiques du lieu considéré

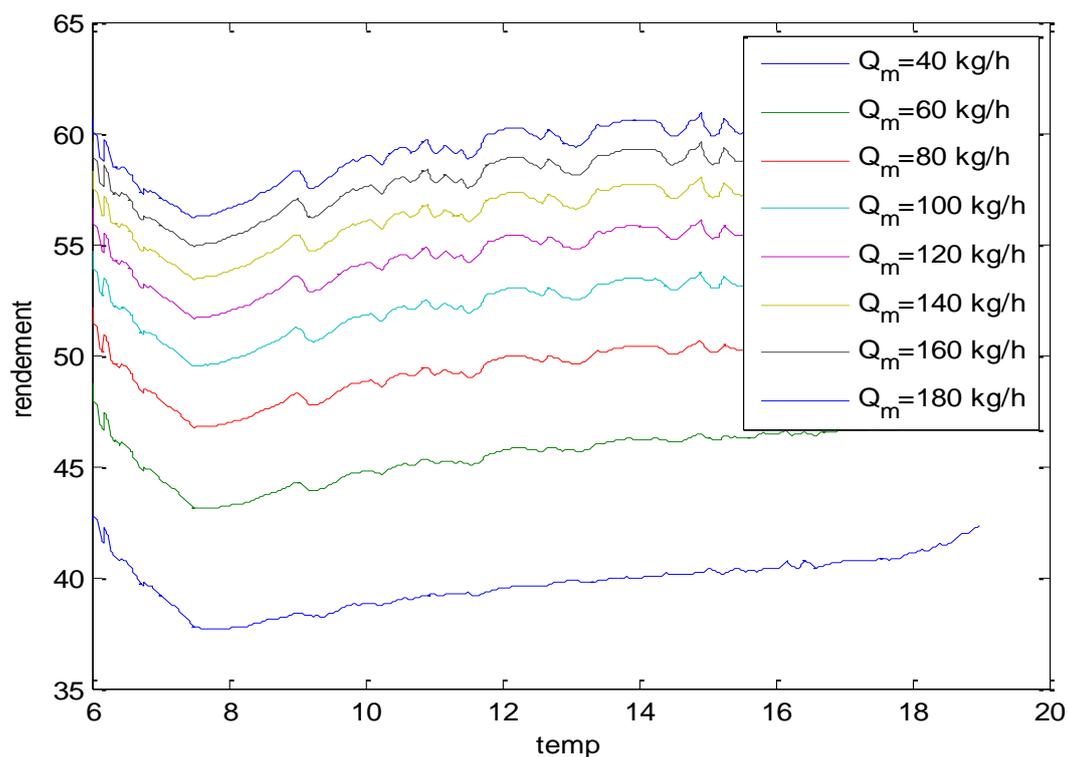


Fig. IV.10 L'influence de la variation du débit sur le rendement du capteur solaire le 11-06-2008.

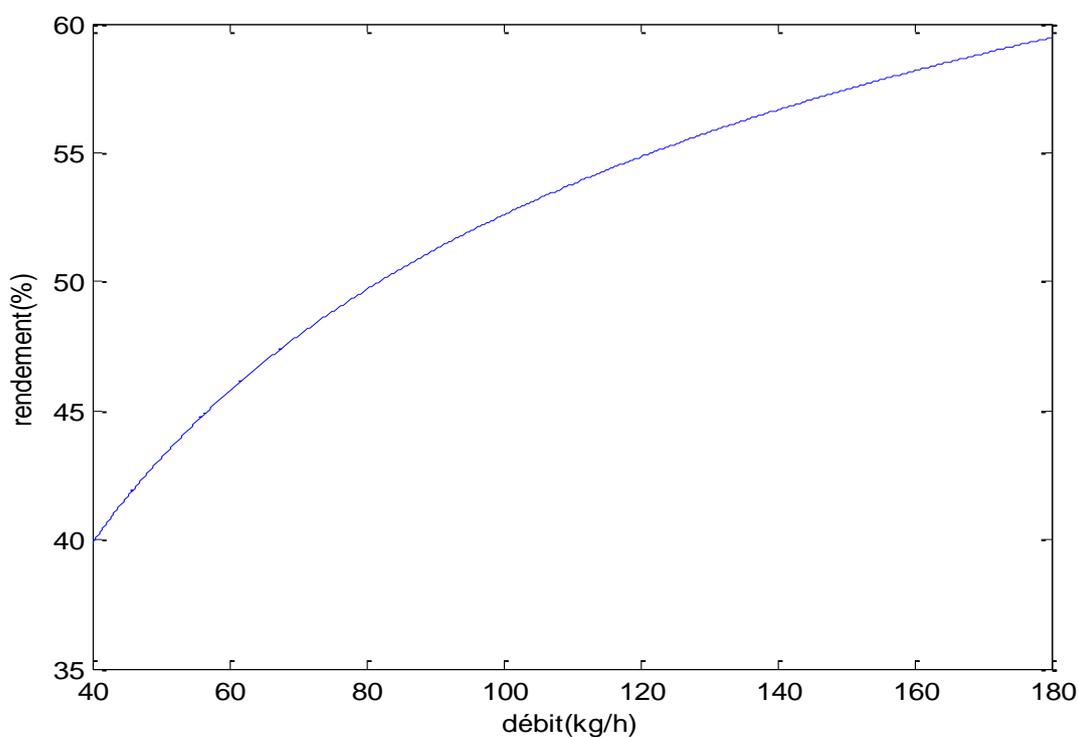


Fig. IV.11 L'influence du débit sur le rendement du capteur solaire le 11-06-2008.

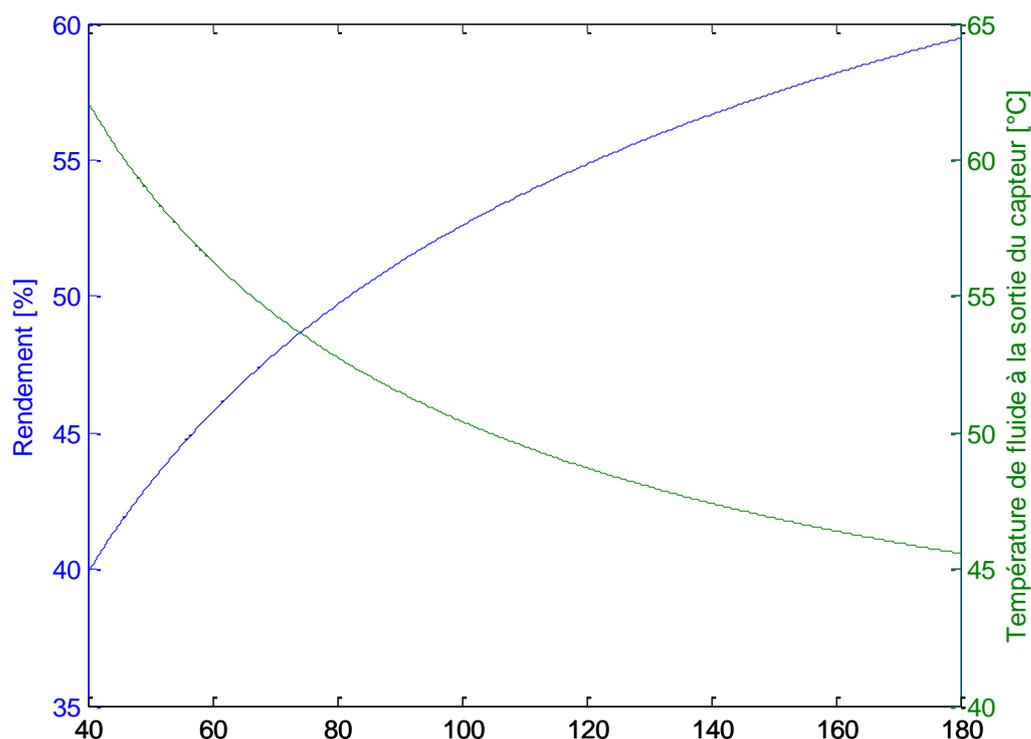


Fig. IV.12. Evolution du rendement et de la température de sortie, au midi solaire, le 11-06-2008 journée à nombreux passages de nuageux.

Le Fig. IV.12 montrent que à un instant donné, la température de sortie du capteur diminue de façon continue avec l'augmentation du débit et comme la température de fluide baisse avec l'augmentation du débit, le rendement est accru conséquence. Ceci s'explique par le fait que lorsque le débit d'air croît, la puissance solaire incidente étant maintenue constante, la quantité d'air à chauffer augmente, entraînant une diminution de la température de sortie. à midi solaire.

Les Fig. IV. 11,12 montrent également la relation entre le rendement et la température de sortie avec le débit. Comme les fonctions de capteur dans un état transitoire avec une grande inertie thermique, il est très difficile de déterminer son rendement à travers une approche expérimentale. Par conséquent, la simulation par ordinateur offre une meilleure alternative pour surmonter cette difficulté.

IV.5. Conclusion :

Ce chapitre montré que l'inclinaison du capteur est le paramètre essentiel dans la variation l'angle d'incidence (θ), contrairement aux autres paramètres qui influent peu sur ce dernier durant la période des tests.

Et montré aussi que le rayonnement incident sur le capteur subit de nombreuses fluctuations dues aux passages nuageux ainsi qu'aux fluctuations de la température ambiante et le pic de la température à la sortie de l'capteur dépend de débit d'air.

Conclusion générale

Conclusion Générale :

Le capteur plan à air, par la voie solaire revêt une importance et ce pour deux raisons : nécessité d'économie de l'énergie et souci de se procurer de nouvelles ressources.

Pour atteindre ce but, nous avons illustré la meilleure procédure du capteur, vu l'importance du rayonnement solaire, qui représente la seule source d'énergie utilisée dans le captage solaire.

En tenant compte des hypothèses considérées, et à travers les résultats obtenus, nous pouvons tirer les conclusions suivantes :

Les différents facteurs qui influent sur la performance thermique du capteur sont :

- Les conditions climatiques.
- L'énergie incidente (l'angle d'inclinaison, l'angle d'incidence),.
- Les constituants du capteur :
 - caractéristique de l'isolant
 - débit du fluide caloporteur
 - caractéristiques du vitrage et de l'absorbeur.

Cependant, pour avoir une meilleure efficacité, on doit maintenir :

- Un large écart de température entre l'entrée et la sortie du fluide caloporteur.
- Une conductivité thermique élevée.

Quant à l'espoir d'assister un jour à la généralisation des applications dans les différents domaines exprimant des besoins compatibles avec les performances des capteurs, il faudra attendre une politique énergétique incitative en la matière comme cela se produit actuellement dans les pays dits développés.

BIBLIOGRAPHIE

[1] A. Hadj Arab, M. Benghanem, A. Gharbi, “Dimensionnement de Systèmes de Pompage Photovoltaïque”, Rev Energ Ren 2005, Vol. 8, pp. 19 – 26.

[2]M. Bernard “L'énergie sur la terre : analyse des ressources et de la consommation. La place de l'énergie électrique“. Antenne de Bretagne de l'École Normale Supérieure de Cachan(Antenne de Bretagne de l'ENS de Cachan,Campus de Ker Lann - 35170 BRUZ,)

[3] Olivier Gergaud, “Modélisation énergétique et optimisation économique d'un système de production éolien et photovoltaïque couplé au réseau et associé à un accumulateur”,
Thèse de doctorat,
9 décembre 2002, Antenne de Bretagne de l'École Normale Supérieure de Cachan.

[4] A. Iuliana BRATCU, I. MUNTEANU, D. Cristina CERNEGA, “ Modélisation À Événements Discrets D'un Système Éolien À Vitesse Variable En Vue De La Commande Supervisée”,6ème Conférence Francophone de Modélisation et Simulation - MOSIM'06 - du 3 au 5 avril 2006 – Rabat-Maroc.

[5] Corinne Alonso, “ Contribution à l'optimisation, la gestion et le traitement de l'énergie” Thèse de doctorat, 12 Décembre 2003, Université Paul Sabatier – Toulouse III.

[6] Isabelle Roussel « Les énergies renouvelables », *Pollution atmosphérique* [En ligne], N° 223, mis à jour le : 05/01/2015, URL : <http://odel.irevues.inist.fr/pollution-atmospherique/index.php?id=4672>.

[7]- Alain Ricaud «Gisement solaire et transferts énergétiques » Université de CERGY-PONTOISE 2011.

[8]- André JOFFRE «Énergie solaire thermique dans le bâtiment. » Centre français d'exploitation du Techniques de l'Ingénieur. 2008

[9]- Solar-Energy Engineering Processes and Systems Elsevier 2009.

[10]- KASBADJIN & MERZOUK M., « Les capteurs solaires plans : conception et performances », CDER Bouzareah, Alger, 2008.

[11] Afedes, Momosol, memento d'héliotechnique, édition européennes thermique et industrie, paris 1979.

[12] Samuel Bragard, « De l'étude à réalisation de projets en développement durable », Energie 20 30 Agence s.a. 087/632 444.

[13] Ben Slama, R. (2007) "The air solar collectors: Comparative study, introduction of baffles to favor the heat transfer", Solar Energy 81, 139–149

[14] Patankar, S.V., Liu, C.H. and Sparrow, E.M. (1977), "Fully developed flow and heat transfer in ducts having streamwise-periodic variations of cross-sectional area", Journal of Heat Transfer, Vol. 99, pp. 180-6.

[15] Kellar, K. M., Patankar, S. V., (1987) "Numerical prediction of flow and heat transfer in parallel plate channel with staggered fins", Journal of heat transfer. 109, pp.25-30

[16] Bemer, C., Durst, F., McEligot, DM. (1984) "Numerical study of fluid flow and heat transfer in a parallel plate channel with baffles", Journal of Heat Transfer, pp.106-743.

[17] Webb, B.W., Ramadhyani, S., (1985), "Conjugate heat transfer in a channel with staggered ribs", Int. J. Heat Mass Transfer 28, pp. 1679–1687.

[18] Lopez, J.R., Anand, N.K., Fletcher, L.S. (1996)"Heat transfer in a three-dimensional channel with baffles", Numerical Heat Transfer.30, pp. 189–205.

[19] Bazdidi-Tehrani, F., and Naderi-Abadi, M., (2004) "Numerical Analysis of Laminar Heat Transfer in Entrance Region of a Horizontal Channel with Transverse fins", International Communications in Heat and Mass Transfer, Vol. 31, No. 2, pp.211-220.

- [20] Yang, Y.T, Hwang CZ. (2003) "Calculation of turbulent flow and heat transfer in a porous-based channel", *Int J. Heat Mass. Transfer*; 46, pp. 771–80.
- [21] Hwang, R. R, Chow, Y. C., Peng, Y.F. (1999) "Numerical study of turbulent flow over-two dimensional surface-mounted ribs in a channel", *International journal for Numerical Methods in Fluids*. 37, pp. 767-785.
- [22] Yuan, Z.X. and Tao, W.Q. (1998), "Numerical prediction for laminar forced convection heat transfer in parallel-plate channels with streamwise-periodic rod disturbances", *Int. J. Numerical Methods in Fluids*, Vol. 28, pp. 1371-87.
- [23] Tsay, Y.-L., Chang, T.S., Cheng, J.C., (2005) "Heat transfer enhancement of backward-facing step flow in a channel by using baffle installed on the channel wall", *Acta Mech*. 174, pp. 63–76.
- [24] Founti, M.A., Whitelaw, J.H. (1981) "Shell side flow in a model disc and doughnut heat exchanger", *Tech. Report FS/81/37*, Mech. Eng. Dept., Imperial College, London, UK.
- [25] Berner, C., Durst, F., McEligot, D.M., (1984) "Flow around baffles", *Trans. ASME J. Heat Transfer* 106, pp. 743–74

[26] N.MOUMMI, "prévisions systématiques et optimisation des performances des capteurs solaires plans à air dans divers sites de climat méditerranéen ou sahariens et avec ou sans altitudes" Thèse de doctorat ;(1994).

[27] P.CHOUARD,H.MICHEL et M.F.SIMON "Bilan thermique d'une maison solaire" Edition Eyrolles ;(1979).

[28] R.MARCHAL, "Transmission de la chaleur par convection dans les tubes" Edition Eyrolles ;(1979).

[29] M.DAGUENET, "les séchoirs solaires thermiques et pratiques" U.N.I.S.C.O, Edition ;(1986).

[30] Influence de l'angle d'incidence modifié sur les performances thermiques des capteurs solaires plans K. Kaci , N. Kasbadji Merzouk , M. Merzouk ,S. Hakem , S. Mecheri et S. Kherrou

[31] S. Benkacali, 'Etude Expérimentale du Coefficient de Trouble Atmosphérique sur le Site de Ghardaïa', Revue des Energies Renouvelables, Vol. 12, N°4, pp. 649 – 654, 2009.

[32] JOHN.A.DUFFIE et WILLIAM.A.BECKMAN, "Solarenergy thermal process" WILEY-interscience-Edition;(1980).

[33] O.NIELSSON, A.FRANSEN et O.SANDBERG , "In aerogels" Edition by J.Frink, springerVerlag/Belin, Heideiberg;(1986.)

[34] R.CAPS et J.FRINCKE, "Infraredradiative heat transfer in highly transparent silica aerogel" Solar energy Vol 36,N°0L,pp13-15;(1988).

[35] J.M.Chasseriaux "Conversion thermique du rayonnement solaire" DUNOD, février ;(1984).

[36] Simulation numérique du fonctionnement d'un insolateur plan à air destiné au séchage solaire des produits agricoles dans la région de Ghardaïa BENSEDDIK , A. AZZI, A.K. ALLAF, L. SERIR et A. ABENE.

Liste des figures

Figure I- 1 :Structure du soleil	5
Figure I- 2 : Mouvement de la terre autour du soleil	6
Figure I- 3 : Repère de coordonnées horaires	8
Figure I- 4 : Repère de coordonnées azimutales.....	9
Figure I- 5 : Repérage d'un site sur la surface terrestre.....	10
Figure I- 6 : Le spectre solaire	11
Figure I- 7 : Evolution annuelle de la constante solaire	12
Figure I- 8 : Rayonnement direct, diffus et global.....	13
Figure II- 1 : Schéma d'un capteur sans vitrage.	15
Figure II- 2 : Schéma d'un capteur vitré.	16
Figure II- 3 : Les composants d'un capteur sous vide	17
Figure II- 4 : Système à réflecteur cylindro-parabolique.....	18
Figure II- 5 : Système à réflecteur parabolique	18
Figure II- 6: Schéma de principe d'un capteur solaire plan.....	20
Figure II- 7 : peinture noire sur absorbeur	22
Figure II- 8 : Schéma d'un capteur plan à eau	30
Figure II- 9 : Photo représentant un Chauffe-eau solaire.....	30
Figure II- 10 : Les types génériques principaux d'écoulements.....	32
Figure II- 11 : Capteurs à absorbeur perméable	32
Figure II- 12 : différents type d'absorbeur.....	32
Figure II- 13 : Chauffages est climatisation des habitations.....	34
Figure II- 14 : Schéma d'un capteur plan à air incliné.	35
Figure II- 15 : Photo représentant un Chauffage d'habitat par un capteur plan à air ...	36
Figure III-1 : schéma des réflexions des rayonnements	38
Figure III-2 : bilan énergétique	41
Figure III-3 : schéma de sens de fluide	43
Figure III-4 : schéma électrique équivalent des échanges thermiques	45
Figure IV-1: Evolution δ en fonction du numéro du jour.....	50

Figure IV- 2: Evolution de $\cos(\theta)$ en fonction de δ	51
Figure IV- 3: Evolution de $\cos(\omega)$ en fonction (ω)	51
Figure IV- 4: Evolution de θ en fonction de β	52
Figure IV-5: Evolution de $\cos(\theta)$ en fonction de $\cos(\omega)$	53
Figure IV-6.1 : Schéma du capteur solaire étudié.....	59
Figure IV-6.2 : Vue du banc d'essai.....	59
Figure IV-7 : Variation du flux solaire et de la température ambiante, journée avec nombreux passages de nuageux.	61
Figure IV-8 : La variation de la température en fonction de l'éclairement solaire	62
Figure IV-9 : 1 Observation des isothermes du 6h00 au 19h00 jusqu'à un débit de 180 kg/h, journée à ciel clair.	62
Figure IV-9 : 2 Observation des isothermes du 6h00 au 19h00 jusqu'à un débit de 180 kg/h, journée à ciel clair.	63
Figure IV-10 : L'influence de la variation du débit sur le rendement du capteur solaire	64
Figure IV-11 : L'influence du débit sur le rendement du capteur solaire	64
Figure IV-12 : Evolution du rendement et de la température de sortie, au midi solaire, journée à ciel clair.	65

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Caractéristiques principales du soleil	3
Tableau II.1 : Le coefficient d'absorption α et le coefficient d'émission ε pour les supports les plus utilisés comme absorbeur	23
Tableau II.2 propriété des matériaux.....	27
Tableau IV.1: Evolution δ en fonction du numéro du jour	50
Tableau IV. 2: Evolution de θ en fonction de β	52
Tableau IV.3: Evolution de $\cos(\theta)$ en fonction de $\cos(\omega)$	53
Tableau IV.4 : Paramètres radiatifs de différentes composantes du capteur solaire	55
Tableau IV.5 : Propriétés thermophysiques de l'air	56
Tableau IV.6 : Propriétés thermophysiques de la vitre.....	56
Tableau IV.7 : Propriétés thermophysiques de l'absorbeur.....	57
Tableau IV.8 : Propriétés thermophysiques de l'isolation.....	57
Tableau IV.9 : Dimensions géométriques du capteur solaire	60

Symboles

λ : inclinaison du capteur	[°]
ω : L'angle horaire	[°]
a : L'azimut du soleil	[°]
h : La hauteur du soleil	[°]
T_s : Temps solaire	[h]
T_L : temps légal	[h]
$L_{r\acute{e}g}$: longitude de référence	[°]
L_{lieu} : longitude du lieu	[°]
C : correction sur le temps légal	
E : l'équation du temps	
n : quantième jour de l'année	
m : indice de réfraction	
I_c : Le flux incidence sur la surface du capteur	[w/m.k]
A : coefficient de trouble caractérisant le sol ou bien le coefficient d'extinction	
B : l'intensité de l'éclairement hors atmosphère	
C : Coefficient de distance terre-soleil	
K_e : coefficient d'extinction	[m ⁻¹]
h : Coefficient de convection fluide tube	[w/m ² .k]
T_p : Température de la plaque absorbante	[°C]
T_a : Température ambiante	[°C]
T_{fe} : Température d'entrée du fluide caloporteur	[°C]
T_{fs} : Température de sortie du fluide caloporteur	[°C]
T_{fm} : Température moyenne du fluide caloporteur	[°C]
T_{pm} : Température moyenne de l'absorbeur	[°C]
Q_u : énergie utile extraite de l'absorbeur par le fluide caloporteur	[W/m ²]
Q_p : énergie perdue par le capteur vers l'environnement	[W/m ²]
Q_t : Puissance thermique transmise directement par la paroi externe	[W/m ²]
Q_s : Puissance stockée sous forme de chaleur	[W/m ²]
U_l : Coefficient global des pertes	[w/m ² .k]

NOMENCLATURE

U_{lat}	: Coefficient des pertes vers les côtés	[w/m ² .k]
U_{ar}	: Coefficient des pertes vers l'arrière	[w/m ² .k]
U_{av}	: Coefficient des pertes vers l'avant	[w/m ² .k]
L	: épaisseur de la vitre	[m]
A_c	: Surface de captation	[m ²]
F_a	: Le rendement de l'ailette	[%]
E	: Épaisseur de l'absorbeur	[m]
dh	: Epaisseur de la lame d'air	[m]
N_v	: Nombre de vitrage	
E_1	: Épaisseur de l'isolant arrière	[m]
E_2	: Épaisseur de l'isolant sur les côtés du capteur	[m]
A_e	: Aire latérale du capteur	[m ²]
K_a	: Conductivité de la lame d'air	[w/m ² .k]
R_b	: résistance thermique de la soudure	[m.k/w]
C_p	: capacité calorifique de fluide caloporteur	[j/kg.°k]
K'	: Conductivité thermique de l'eau	[w/m.°C]
K	: conducteur de l'isolant	[w/m.°C]
K_2	: Conductivité thermique de l'isolant latéral	[w/m.°C]
R_a	: le nombre de Rayleigh	
G_r	: Nombre de Grashoff	
Re	: Nombre de Reynold	
Pr	: Nombre de Prandlt	
Nu	: Nombre de Nusselt	
F_R	: Facteur de conductance du capteur	
f	: coefficient des pertes tenant compte de l'effet du vent	[w/m ² .k]
hw	: coefficient de transfert thermique du au vent	[w/m ² .k]
V_v	: vitesse du vent	[m/s]

symboles grecs :

θ_{τ} : Angle de réfraction	[°]
θ_i : Angle d'incidence	[°]
α : angle entre le méridien local et la projection de la normale au plan	[°]
δ : La déclinaison du soleil	[°]
τ : coefficient de transmission	
α : coefficient d'absorption	
ε : Coefficient d'émissivité entre deux plaques parallèles.	
ρ : coefficient de réflexion	
ε_g : Emission du verre	
ν : viscosité cinématique de fluide caloporteur	[m ² /s]
λ : Conductivité de l'absorbeur	[w/m.°C]
ε_p : Emission de l'absorbeur	
σ : constante de Stefan-Boltzmann	[w/m ² .k ⁴]
η_i : Rendement instantané du capteur	[%]
η_o : Rendement optique du capteur	[%]

خلاصة

التطور الحالي في مجال علوم الحاسوب تساعد على إنشاء أنظمة تمكن من اختيار الجملة النموذجية لتحويل الطاقة و إسهامها في الإختيار الصحيح للعناصر المكونة و تكييفها لأفضل الإستخدامات الصناعية و المنزلية الهدف الأساسي لهذا العمل يتمحور حول استعمال برنامج ذو قاعدة بيانات يسمح لنا بحساب مردودية المستقبلات الشمسية التي تعمل بالهواء و هذا باستعمال ماتلاب كلغة برمجة , في هذه الدراسة اختبرنا مدى توافق النتائج المحصل عليها فيما يخص مردودية المستقبلات الشمسية.

الكلمات المفتاحية:

مستقبل شمسي، مردودية حرارية، الزاوية الإنعكاسية، برنامج، محاكات آلية.

Résumé :

Le développement actuel du domaine de l'informatique, constitue une aide à la simulation des performances des systèmes de conversion d'énergie, simuler le bon choix des éléments et une meilleure adaptation aux diverses utilisations industrielles et domestiques.

La programmation et l'utilisation d'un logiciel de simulation des performances thermiques des capteurs plans à air par l'outil de programmation MATLAB, constitue le sujet essentiel de ce travail. Dans cette étude on a mis en évidence la validation d'un logiciel de simulation des performances thermiques des isolateurs solaires plans à air.

Mots Clés :

Capteur solaire, plan à air, performance thermique, convection forcée, logiciel, simulation informatique.

Abstract:

The current development of the field of computer science, is a help to the simulation of the performance of energy conversion systems, simulate the right choice of the elements and a better adaptation to various industrial and domestic uses. The programming and the use of a software simulation of thermal performance of flat plate air collector with MATLAB tool is the essential subject of this work. In this study it was highlighted chart, the approach of design and validation of the thermal performance about the flat plate collector by software computer simulation.

Key words:

Flat plate collector, thermal performance, forced convection, software, computer simulation.