

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université MOULOUD MAMMERRI de Tizi-Ouzou



Faculté du Génie de la Construction

Département de Génie Mécanique

En vue d'obtention du diplôme de master en génie mécanique

Option : Energétique

Spécialité : Energies Renouvelables

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

THEME

Etude et réalisation d'un capteur solaire thermique à air



Encadré par :

Mr S.MAKHLOUF

Réalisé par :

DJADOUR Ahmed

BOUSSADIA Ahmed

Promotion 2015/2016

Remerciements

Au terme de ce travail nous à remercier en premier lieu Dieu qui nous a donné la force pour mener à bien l'étude de ce projet.

Nous exprimons nos sincères remerciements envers notre promoteur Mr S.MAKHLOUF, enseignant à la faculté de Génie de construction de l'université Mouloud MAMMARI de Tizi-Ouzou qui nous a permis de réaliser ce travail sous sa direction et pour le soutien et les conseils précieux tout au long du travail.

Nos remerciements s'adressent aussi aux personnels de hall de technologie d'Oued-Aïssi et spécialement à Mr M. Ahcene et Mr A. Sofiane qui ont prêté main forte dans cette réalisation.

Nos remerciements vont aussi à tous les enseignants de la faculté de Génie de construction de nous avoir suivis tout au long de notre cursus universitaire.

Nous remercier également le président et les membres du jury pour l'honneur qu'ils nous font en jugeant notre travail.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

À ma fabuleuses étoile ma très chers mère

A mon père : le plus bon de tous les pères

À mes chers frères et ma sœur

Et à toute ma famille en général.

Et enfin

À mon binôme Ahmed avec qui j'ai partagé ce travail.

*À tous mes amis surtout Ch. Hocine, F. Abdenour et M. Koceila pour
leurs soutiens.*

Ahmed.B

Je dédie ce modeste travail :

À ma fabuleuses étoile ma très chers mère

A mon père : le plus bon de tous les pères

À mes sœurs DJOUHER, MESSADE ET TAOUS

À mon frère ABDERAHMANE

Et à toute ma famille en général.

Et enfin

À mon binôme NASSIM avec qui j'ai partagé ce travail.

À tous mes amis avec qui j'ai partagé des moments précieux.

Ahmed.DJ

Sommaire :

Nomenclature.....	i
Lettres grecques.....	ii
Indices.....	ii
Liste des figures.....	iv
Liste des tableaux.....	vii

Introduction générale	1
-----------------------------	---

Chapitre I : Le gisement solaire

I.1 Introduction	2
I.2 Généralités sur le soleil	2
I.2.1 Définition	2
I.2.2 Constitution du soleil.....	3
I.3 Coordonnées géographiques terrestre	3
I.3.1 Altitude (h)	3
I.3.2 Longitude (α)	4
I.3.3 Latitude (ϕ)	4
I.4 Position du soleil	4
I.4.1 Coordonnées équatoriales.....	4
a- La déclinaison du soleil (δ).....	4
b- Angle horaire du soleil (ω).....	5
I.5 Coordonnées horizontale	6
I.5.1 Hauteur du soleil (h)	6
I.5.2 Azimut du soleil (a_z)	6
I.6 Les temps solaires.....	7
I.6.1 Le temps solaire moyen	7
I.6.2 Le temps universel	7
I.6.3 Le temps légal.....	8
I.6.4 Le temps solaire vrai	8
I.6.5 L'équation du temps	8
I.6.6 La transition du temps légal vers le temps solaire vrai	8
I.7 Rayonnement solaire	8

I.7.1	Composante du rayonnement solaire.....	9
I.7.2	Rayonnement solaire arrivant au sol.....	10
	a- Le rayonnement direct	11
	b- Le rayonnement diffus	11
	c- Le rayonnement global	11
I.8	Orientation d'un plan	11
I.9	Angle d'incidence des rayons solaires	12
I.10	Constante solaire	12
I.11	Notion de l'indice de Clarté	13
I.12	Le gisement solaire en Algérie	13
I.13	Conclusion	14

Chapitre II : Généralités sur les capteurs solaires

II.1	Introduction	15
II.2	Les différents composants du capteur solaire	15
II.2.1	Couverture transparente	15
	a- Définition de l'effet de serre	15
	b- Les mécanismes de l'effet de serre.....	16
II.2.1.a	La composition du verre	19
II.2.1.b	Quelques propriétés physiques et mécaniques du vitrage	19
II.2.2	Absorbeur	20
II.2.3	Isolation	21
II.2.4	Le Coffre	21
II.3	Différents types de capteurs solaires (selon la géométrie).....	22
II.3.1	Capteurs à concentration	22
	II.3.1.1 Capteur cylindro-parabolique	22
	II.3.1.2 Capteur parabolique	22
	II.3.1.3 Cheminée solaire	23
	II.3.1.4 Cuiseur solaire	23
II.3.2	Capteurs solaires plans (non concentration)	24
	II.3.2.1 Capteur solaire plan	24
II.4	Le choix du capteur solaire (selon les températures).....	24
	II.4.1 Capteur moquette	24

II.4.2	Capteur plan vitré	24
II.4.3	Le capteur sous vide	24
II.5	Applications des capteurs solaires	26
II.5.1	Chauffage des locaux	26
II.5.2	Séchage	26
II.6	Etude et bilan énergétique d'un capteur plan à air muni d'un double vitrage.....	27
II.6.1	Différents modes de transferts thermiques dans un capteur solaire.....	27
II.6.1.1	Conduction	27
II.6.1.2	Convection	27
II.6.1.2.a	Convection forcée.....	27
II.6.1.2.b	Convection naturelle.....	28
II.6.1.3	Rayonnement	28
II.6.2	Les puissances absorbées	28
II.6.2.1	La puissance absorbée par la couverture transparente.....	28
II.6.2.1.a	La puissance absorbée par la vitre supérieure	29
II.6.2.1.b	La puissance absorbée par la vitre inférieure	29
II.6.2.2	Puissance absorbée par le corps noir (canettes)	29
II.6.3	Les pertes	30
II.7	Performances d'un capteur solaire plan	31
II.8	Les différents paramètres influant sur le rendement du capteur solaire.....	32
II.8.1	Les paramètres externes	32
II.8.2	Les paramètres internes	32
II.9	Conclusion.....	33
 Chapitre III : Méthodes de réalisation		
III.1	Introduction	35
III.2	Les buts recherchés par cette réalisation	35
III.3	Avantages et inconvénients du capteur	35
III.3.1	Avantages de fabrication	35
III.3.2	Les inconvénients	35
III.4	Les différentes étapes de réalisation	35
III.4.1	L'absorbeur	36
III.4.1.1	Perçage des cannetes	36

III.4.1.2 Assemblage	36
III.4.1.3 Traitement de surface des tubes.....	37
III.4.2 les collecteurs	38
III.4.3 Le boîtier	39
III.4.4 Isolation	40
III.4.5 La couverture transparente	41
III.5 Estimation du coût du capteur réalisé.....	43
III.6 Conclusion	44
Chapitre IV : Résultats et discussions	
IV.1 Introduction	45
IV.2 les tests réalisés	46
IV.2.1 Le 1 ^{er} test (le 04/07/2016)	46
Discussion des résultats du 1 ^{er} test	47
IV.2.2 Le 2 ^{ème} essai (le 12/07/2016)	48
IV.2.2.A Test réalisé à(12 h: 00)	48
Discussion des résultats du 2 ^{ème} essai à (12h:00).....	49
IV.2.2.B Test réalisé à (14h : 20).....	49
Discussion des résultats du 2 ^{ème} test à (14 h: 20).....	50
IV.3 Conclusion	51
Conclusion générale	52
 Références bibliographiques.....	 53

Nomenclature :

Notation	Unités
D_1 : Diamètre du soleil	Km
D_2 : Diamètre de la terre	Km
D_3 : Distance soleil-terre	Km
h : Altitude	m
TSM : Temps Solaire Moyen	Heur
TU : Temps Universel	Heur
TL : Temps Légal	Heur
TSV : Temps solaire vrai	heur
TL : Temps légal	heur
ET : Equation du temps	minute
h : Hauteur du soleil	degré
a_z : Azimut du soleil	Degré
Υ : Hauteur du plan	Degré
B' : Inclinaison du plan	Degré
i : Angle d'incidence	Degré
I_c : la constante solaire corrigée	(W/m ²)
I_0 : la constante solaire	(W/m ²)
m : Le numéro de mois dans l'année	Mois
N : Le numéro du jour dans le mois	Jour
K_t : Incidence de clarté	/
E : Module de Young	Pa
ν : Coefficient de Poisson	/
A : Surface d'échange	m ²
T_p : Température de la paroi solide	K
T_f : Température du fluide	K
q : Densité de flux de chaleur	W/ m ²
e_i : Epaisseur de l'isolant	M
e_b : Epaisseur du boitier	M
e_{lat} : Epaisseur de l'isolant latérale	M
P_b : Périmètre du boitier	m ³
U_{pt} : Coefficient globale des pertes de chaleur	W/m ² K
U_{arr} : Coefficient des pertes de chaleur par l'arrière du capteur	W/m ² K
U_{lat} : Coefficient des pertes de chaleur latérales	W/m ² K
U_{av} : Coefficient des pertes de chaleur par l'avant	W/m ² K
R_i : Résistance intérieure	m ² K/W
R_e : Résistance extérieure	m ² K/W

Rc : Resistance de la lame d'air	m^2K/W
Cp : Chaleur spécifique	J/Kg.K
Ac : Surface du capteur	m^2
IG : Densité de flux solaire globale incident	W/m^2
T_{pm} : Température moyenne de la couche absorbante	$^{\circ}C$
T_a : Température de l'air	$^{\circ}C$

Lettres grecques :

Symboles	Unités
δ : Déclinaison solaire	Degré
ω : Angle horaire	Degré
a : Azimut du soleil	Degré
Φ : Latitude du lieu	Degré
i : Angle d'incidence	Degré
α : Coefficient d'absorption	/
λ : Conductivité thermique	W/m.K
ε : Emissivité	/
τ : Coefficient de Stefan Boltzmann	$W/m^2.K^4$
ρ : La masse volumique	kg/m^3
η : Rendement d'un capteur	%
τ_v : Facteur de transmission de la vitre	/
ρ_v : Facteur de réflexion de la vitre	/
α_p : facteur d'absorption de la plaque absorbante	/
ρ_p : Facteur de réflexion da la plaque absorbante	/
λ_i : Conductivité thermique de l'isolant	W/m.K
$\lambda_{i,lat}$: Conductivité thermique de l'isolant latéral.	W/m.K
\emptyset : Flux de chaleur	W

Indice :

Indices	Désignation
Ext	Extérieur
Inf	Inferieur
v_1	vitre extérieure
v_2	vitre intérieure
e	Epaisseur

IR	Infra rouge
TVS	Temps solaire vrai
TU	Temps universel
ET	Equation du temps
TSM	Temps solaire moyen
TL	Temps légale
dir	Directe
dif	Diffus

Listes des figures :

Chapitre I :

Figure I.1 : Situation Terre – soleil.

Figure I.2 : Densité de la couronne solaire.

Figure I.3 : Coordonnées géographiques terrestres.

Figure I.4 : Coordonnées horaires.

Figure I.5 : Repère horizontal.

Figure I.6 : Azimut du soleil.

Figure I.7 : Rayonnement solaire.

Figure I.8 : Longueur d'onde de rayonnement solaire.

Figure I.9 : Composantes du rayonnement solaire sur un plan horizontal.

Figure I.10 : Orientation d'un plan quelconque.

Figure I.11 : Angle d'incidence sur un plan horizontal.

Figure I.12 : Rayonnement solaire reçu sur la terre.

Figure I.13 : Carte du monde de l'ensoleillement moyen annuel.

Figure I.14 : Moyenne annuelle de l'irradiation solaire globale reçue sur un plan incliné à la latitude du lieu.

Chapitre II :

Figure II-01 : Schéma de principe d'un capteur solaire plan à air.

Figure II-02 : Mécanisme de l'effet de serre.

Figure II-03 : Transmissivité spectrale du verre (avec et sans revêtement).

Figure II-04 : Transparence du verre.

Figure II-05 : Capteur cylindro_parabolique.

Figure II-06 : Capteur parabolique.

Figure II-07 : Cheminée solaire.

Figure II-08 : Cuiseur solaire.

Figure II-09 : Rendement des différents capteurs.

Figure II-10 : Local chauffé.

Figure II-11 : Séchage solaire.

Chapitre III :

Figure III. 1 : Opération de perçage.

Figure III.2 : Assemblage des cannettes.

Figure III.3 : Tube peint.

Figure III. 4 : Réalisation des collecteurs.

Figure III.5 : Chicanes.

Figure III.6 : Boitier.

Figure III.7 : Isolation thermique.

Figure III.8 : Couverture transparente.

Figure III.9 : Extracteur d'air.

Figure III.10 : Panneau réalisé.

Chapitre VI :

Figure IV .1 : Evolution des températures lors de l'essai n° 1.

Figure IV.2 : Evolution des températures lors du 2^{ème} essai à 12h 00.

Figure IV.3 : Evolution des températures lors du 2^{ème} essai à 14h 20.

Liste des tableaux :

Tableau II.1 : Coefficient d'absorption α et coefficient d'émission ϵ pour les supports les plus utilisés comme absorbeur.

Tableau IV.1 : Températures mesurées lors du 1^{er} essai.

Tableau IV.2 : Températures mesurées lors du 2^{ème} essai à 12 h 00.

Tableau IV.3 : Températures mesurées du 2^{ème} essai à 14 h 20.

Introduction générale :

L'augmentation brutale du prix du pétrole survenue en 1973 a conduit une première fois les scientifiques et les hommes politiques à s'intéresser à des sources d'énergie renouvelables, au premier rang desquelles l'énergie solaire. D'autre part, l'échauffement climatique causé par l'émission des gaz à effets de serre a conduit beaucoup de pays à s'intéresser à des énergies propres.

Les principales caractéristiques de l'énergie solaire ayant suscité l'intérêt qu'on lui a porté à l'époque étaient sa gratuité, sa disponibilité sur une grande partie du globe terrestre et l'absence de risque d'épuisement connu par les sources d'énergie fossile.

On s'est alors vite aperçu que l'énergie solaire, contrairement à une idée répandue, n'est pas tout à fait gratuite : son utilisation nécessite un investissement de départ souvent plus lourd que pour les sources d'énergie conventionnelles et nombre d'installations solaires sont aujourd'hui à l'arrêt faute d'avoir prévu un budget limité pour la maintenance des équipements.

Toutefois, sans être totalement gratuite, l'énergie solaire présente des coûts de fonctionnement réduits et offre, dans certains cas, une alternative économiquement rentable et environnement acceptable par rapport aux sources d'énergie conventionnelles.

Le développement de l'utilisation de l'énergie solaire sera lié non seulement à ses avantages économiques (qui grandiront au fur et à mesure que les réserves d'énergie fossile diminueront) mais surtout à des considérations liées à la protection de l'environnement : absence de rejets polluants, absence de danger radioactif et de déchets encombrants (centrales nucléaires).

L'objectif de notre travail dans ce présent mémoire est la réalisation et l'étude d'un capteur solaire à air pour une utilisation de chauffage par air chaud et séchage de produits agroalimentaires.

Ce mémoire comporte les chapitres suivants :

- 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 et des notions sur ses différents composants, ses classifications, et les différents échanges thermiques mis en jeu au sein du capteur feront l'objet du deuxième chapitre.
- Le troisième chapitre porte sur la réalisation d'un panneau solaire à air écologique en mettant l'accent sur les différentes étapes de mise en œuvre du prototype.
- Le 4^{ème} chapitre est consacré à l'interprétation et la discussion des résultats obtenus lors des différents essais.

I.1 : Introduction :

Le soleil donne une énergie électromagnétique qui est libérée par les réactions thermonucléaires au sein de lui-même. Ce sont des réactions de fusion transformant des noyaux d'hydrogène en noyau d'hélium avec une émission d'énergie qui donne naissance à un rayonnement électromagnétique centré sur la gamme du visible. Malgré la distance entre le soleil et notre planète, l'impact du rayonnement solaire sur la terre représente un apport énergétique important. Sa répartition n'est pas uniforme, ni d'un point de vue géographique, ni temporellement. Hors atmosphère, ce rayonnement est parfaitement décrit par des équations mathématiques via les paramètres astronomiques. 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 de lever et de coucher ainsi que la trajectoire du soleil dans le ciel au cours d'une journée permettent d'évaluer le gisement solaire pour un site donné.

I.2 : Généralités sur le soleil :

I.2.1 : Définition :

Le soleil est une étoile située à environ 150 millions de kilomètres de la Terre. Vu de notre planète, il se présente sous la forme d'un disque assez homogène, son rayon est 109 fois celui de la Terre (soit 696 000 km) et sa masse 333 000 fois celle de notre planète (soit 2.10^{30} kg) [1].

Le soleil est composé de 80% d'hydrogène, de 19% d'hélium, le 1% restant étant un mélange de plus de 100 éléments lourds (Fer, Néon, Azote, Silicium, ...).

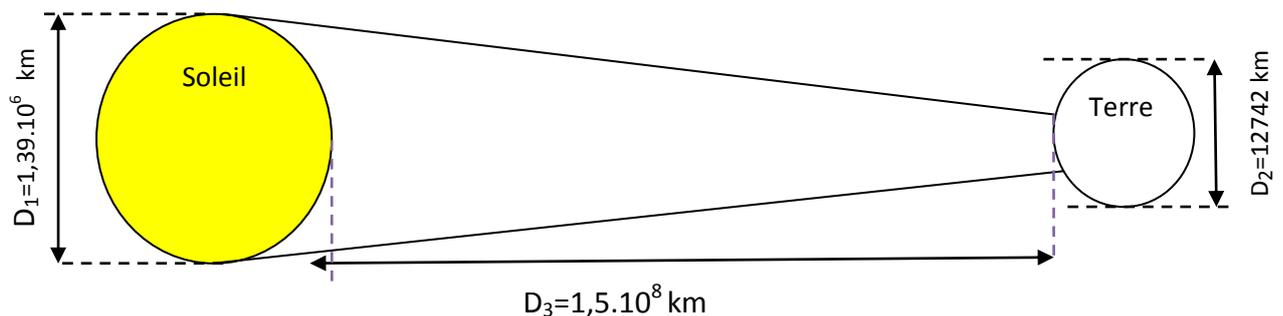


Figure I.1 : Situation Terre – soleil

I.2.1 : Constitution du soleil :

C'est une sphère non homogène dans laquelle on peut distinguer 3 zones principales : l'intérieur, la photosphère, la chromosphère et couronne solaire.

A-l'intérieur :

C'est la source d'énergie du soleil, il est composé de 2/3 d'hydrogène et 1/3 d'hélium. La température atteinte de l'astre est 15.10^6 K.

B- la photosphère :

C'est la couche gazeuse qui enveloppe le soleil. Elle est responsable de presque la totalité du rayonnement que la terre reçoit. Elle est mince d'environ 300 km, et de pression de 10^{-2} atmosphère et une densité de 10^{-8} g/cm³.

C-Chromosphère :

Elle surmonte la photosphère. C'est une couche gazeuse qu'on assimile à l'atmosphère solaire. Son épaisseur est d'environ 2 000 km et sa température croit de 4000 jusqu'à 100 000 K.

D- La couronne :

C'est une auréole blanche irrégulière sans limites définies ; son épaisseur est de l'ordre de 3.10^6 km.

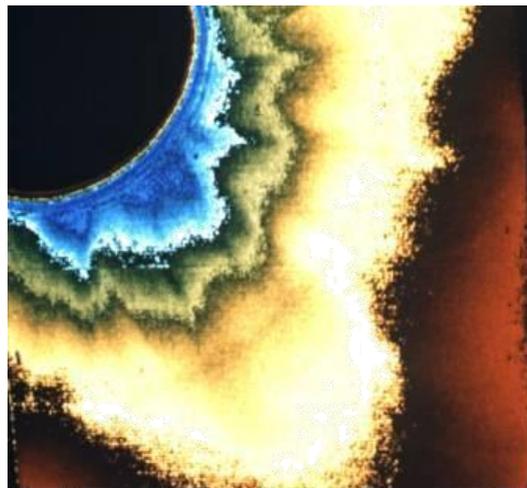


Figure I.2 : Densité de la couronne solaire

I.3 : Coordonnées géographiques terrestre :

On repère un point sur la surface de la terre par ces coordonnées :

I.3.1 : Altitude h :

L'altitude exprime un écart entre un point donné et un niveau moyen, le plus souvent le niveau de la mer (ou niveau 0), mesuré en mètre (m).

I.3.2 : Longitude α :

La longitude d'un lieu est une valeur angulaire, formée d'un point sur Terre par rapport au méridien d'origine (méridien de GREENWICH); elle est comptée de 0° à 180°, positivement vers l'Est et négativement vers l'Ouest.

I.3.3 : Latitude ϕ :

La latitude d'un lieu est une valeur angulaire, expression du positionnement Nord-Sud de l'équateur, d'un point sur la Terre. Théoriquement, elle a pour valeur 0° à l'équateur jusqu'à 90° aux pôles ; elle est comptée positivement de (0 à +90°) vers le Nord et négativement de (0 à -90°) vers le Sud, cette grandeur est notée ϕ .

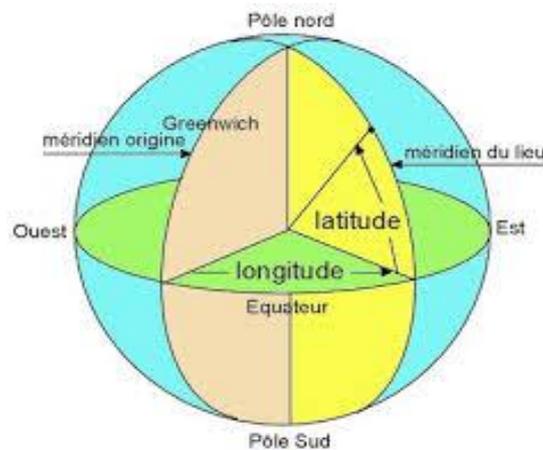


Figure I.3 : Coordonnées géographiques terrestres

I.4 : Position du soleil :

La position du soleil est repérée à chaque instant de la journée et de l'année par deux systèmes de coordonnées différents :

I.4.1 : Coordonnées équatoriales :

Le mouvement du soleil est repéré par rapport à un plan équatorial de la Terre à l'aide de deux angles ; la déclinaison δ et l'angle horaire ω .

a- La déclinaison du soleil δ :

La déclinaison est l'angle que fait la direction d'observation du soleil avec sa projection sur le plan équatorial. Elle est exprimée en degrés (°), minute (m) et seconde (s) d'arc. Elle traduit l'inclinaison du plan équatorial par rapport au plan écliptique.

En considérant la déclinaison comme constante sur une journée, l'équation de Kopernic fournit la relation qui relie ces deux grandeurs :

$$\delta = 23.45 \sin\left(\frac{360+d}{365}\right) \quad (I.1)$$

d : est le numéro du jour de l'année à partir de premier Janvier (variant de 1 à 365)

La déclinaison solaire varie de -23.45° au solstice d'hiver à $+23.45^\circ$ au solstice d'été et elle est nulle aux équinoxes, et cette variation entraîne des variations de la hauteur du soleil pour un même site.

b -Angle horaire du soleil (ω) :

L'angle horaire est l'angle que fait le plan contenant le cercle horaire de l'astre avec le plan contenant le méridien céleste. Il mesure la course du soleil dans le ciel. L'angle horaire définit le temps solaire vrai TVS, il est midi **TSV** si $\omega=0$. Exprimé en après-midi et augmente de 15° pas heure (un tour de 360° en 24 heures). L'angle horaire $\omega(^{\circ})$ est donné par la formule suivante :

$$\omega = 15(TSV - 12) \tag{I.2}$$

TSV : est temps solaire vrai en heure.

Cette formule n'est pas valable pour les heures du lever et du coucher du soleil, il faut ainsi déterminer l'angle solaire du coucher, et au lever qui dépendent de la déclinaison et de la latitude du lieu :

$$\omega_0 = \cos^{-1}(-\tan \varphi \tan \delta) \tag{I.3}$$

L'angle solaire au coucher est tout simplement l'opposé de l'angle solaire au levé.

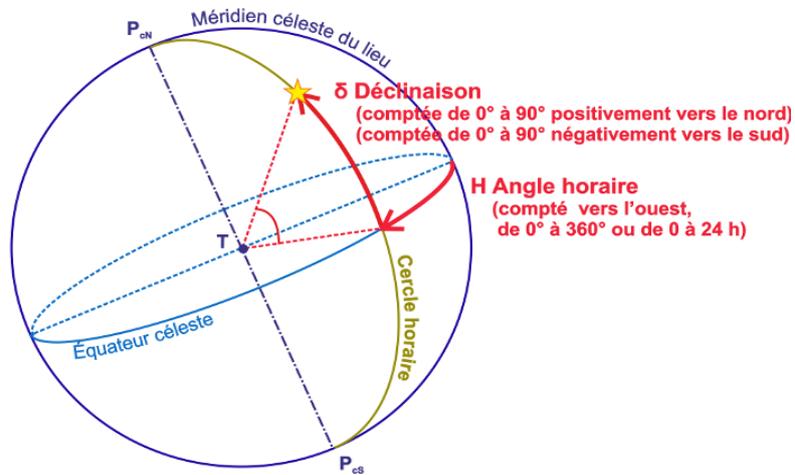


Figure I.4 : Coordonnées horaires

I.5 : Coordonnées horizontale :

Le repère horizontal est formé par le plan de l'horizon astronomique et la verticale du lieu. Dans ce repère, les coordonnées sont la hauteur du soleil, 'h' et l'azimut 'a_z'.

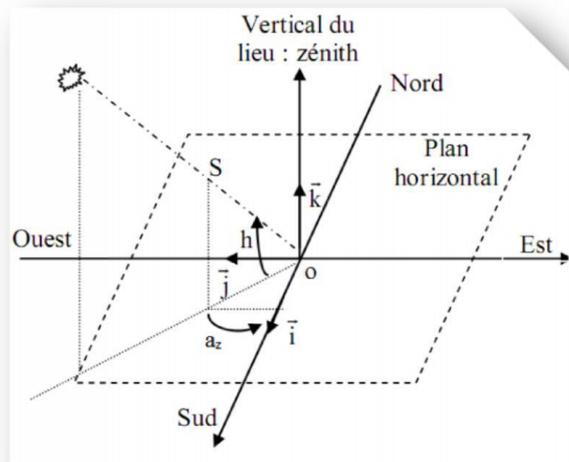


Figure I.5 : Repère horizontal

I.5.1 : Hauteur du soleil (h) :

La hauteur du soleil est l'angle formé par la direction du soleil et sa projection sur le plan horizontal. Il est particulièrement égal à 0° au lever et au coucher astronomiques du soleil, sa valeur est maximale à midi, en temps solaire vrai.

L'expression de la hauteur du soleil est donnée par :

$$\sin h = \cos \delta \cos \omega \cos \varphi + \sin \delta \sin \varphi \tag{I.4}$$

δ : la déclinaison du soleil,

φ : la latitude du lieu,

ω : l'angle horaire.

I.5.2 : Azimut du soleil (a_z) :

C'est l'angle compris entre la projection de la direction du soleil sur le plan horizontal et la direction Sud ou Nord. Il est mesuré en commençant par le Nord ou par le Sud, soit vers l'Est soit vers l'Ouest, à travers un axe de 360° (l'azimut est compris entre -180° ≤ a_z ≤ 180°).

Dans l'hémisphère Nord, l'origine des azimuts correspond à la direction du Sud. L'angle azimutal est compté positivement vers l'Ouest et négativement vers l'Est.

$$\sin a_z = \frac{\cos \delta \cos \omega \sin \varphi - \sin \delta \cos \varphi}{\cos \gamma} \tag{I.5}$$

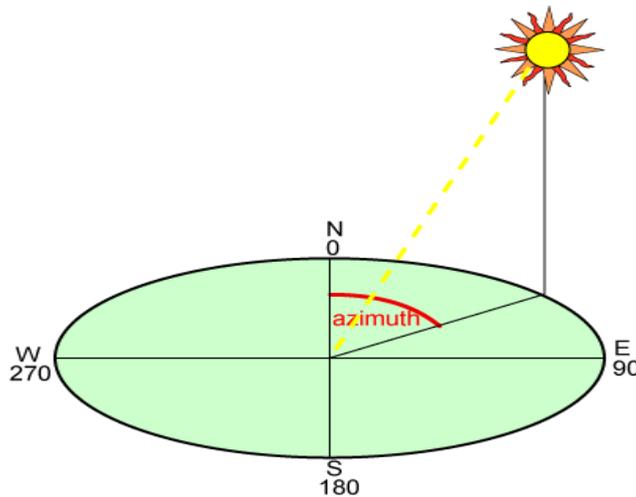


Figure I.6 : Azimut du soleil

I.6 : Temps solaires :

Pour les applications de l'énergie solaire, il faut faire intervenir le temps solaire vrai, qui est calculé en tenant compte de l'écart entre le temps solaire moyen et le temps local.

I.6.1 : Temps solaire moyen :

La rotation de la terre autour d'elle-même introduit la notion du temps solaire moyen ou TSM. On le définit comme étant le temps qui sépare en moyenne deux passages successifs par le méridien du lieu, une rotation complète de la terre autour d'elle-même prend 24 heures.

I.6.2 : Temps universel :

Le temps universel TU est défini par l'heure du passage du soleil au méridien origine. Le méridien retenu comme origine et celui de Greenwich et le TSM correspond au temps universel (c'est le TSM à la longitude 0°). La différence entre le temps solaire moyen et le temps universel est appelée correction de longitude, le temps universel est lié au temps solaire moyen (local) par la relation :

$$TU = TSM - L/15 \quad (I.6)$$

Où :

L : est la longitude.

L > 0, pour les villes situées à l'Est de Greenwich ;

L < 0, pour les villes situées à l'Ouest de Greenwich ;

TU = TSM, pour le méridien de Greenwich.

I.6.3 : Temps légal :

Le temps légal (ou local) est le temps officiel de l'Etat, il diffère par rapport au temps mondial de Greenwich par un décalage exprimé en heures.

$$TL = TU + \Delta H \quad (I.7)$$

ΔH : Le décalage horaire entre le méridien de Greenwich et l'état considéré (H=1 heure pour l'Algérie).

I.6.4 : Temps solaire vrai :

C'est le temps mis par le soleil entre deux passages consécutifs au méridien d'un lieu (Direction Nord-Sud). Le temps solaire vrai et le temps solaire moyen diffèrent. Cette différence est appelée équation du temps, elle varie en fonction du jour :

$$TSV = TSM + ET \quad (I.8)$$

I.6.5 : L'équation du temps :

C'est une équation qui tient compte de la variation de la vitesse de rotation de la Terre, elle est donnée par :

$$ET = 9.87 \sin 2\beta_0 - 7.53 \cos \beta_0 - 1.5 \sin \beta_0 \quad (\text{Minute}) \quad (I.9)$$

L'angle β_0 est défini en fonction du numéro du jour de l'année :

$$\beta_0 = \frac{360}{365} (nj - 81) \quad (\text{degré}) \quad (I.9.a)$$

I.6.6 : La transition du temps légal vers le temps solaire vrai :

En général, pour convertir le temps standard local 'TL' au temps solaire vrai TSV, on utilise l'expression suivante :

$$TSV = TL - \Delta H + \frac{ET+4L}{60} \quad (I.10)$$

ΔH : est le décalage horaire par rapport au méridien de Greenwich.

TL : est le temps légal ou temps local standard, donné par une montre.

L : longitude du lieu.

Le terme relatif à l'équation du temps est généralement négligeable.

I.7 : Rayonnement solaire :

Le soleil émet en permanence, dans toutes les directions de l'espace, des rayonnements électromagnétiques composés de « grains » de lumière appelés photons. Ces rayonnements se propagent à la vitesse de la lumière C ; il lui faut donc en moyenne 499 secondes, soit 8 minutes et 19 secondes, pour atteindre notre atmosphère. L'énergie, E_{ph} , de chaque photon est directement liée à la longueur de l'onde λ .

$$E_{ph} = \frac{hc}{\lambda} \quad (I.11)$$

Où h est la constante de Planck, $h = 6.62.10^{-34} \text{ J.s}$

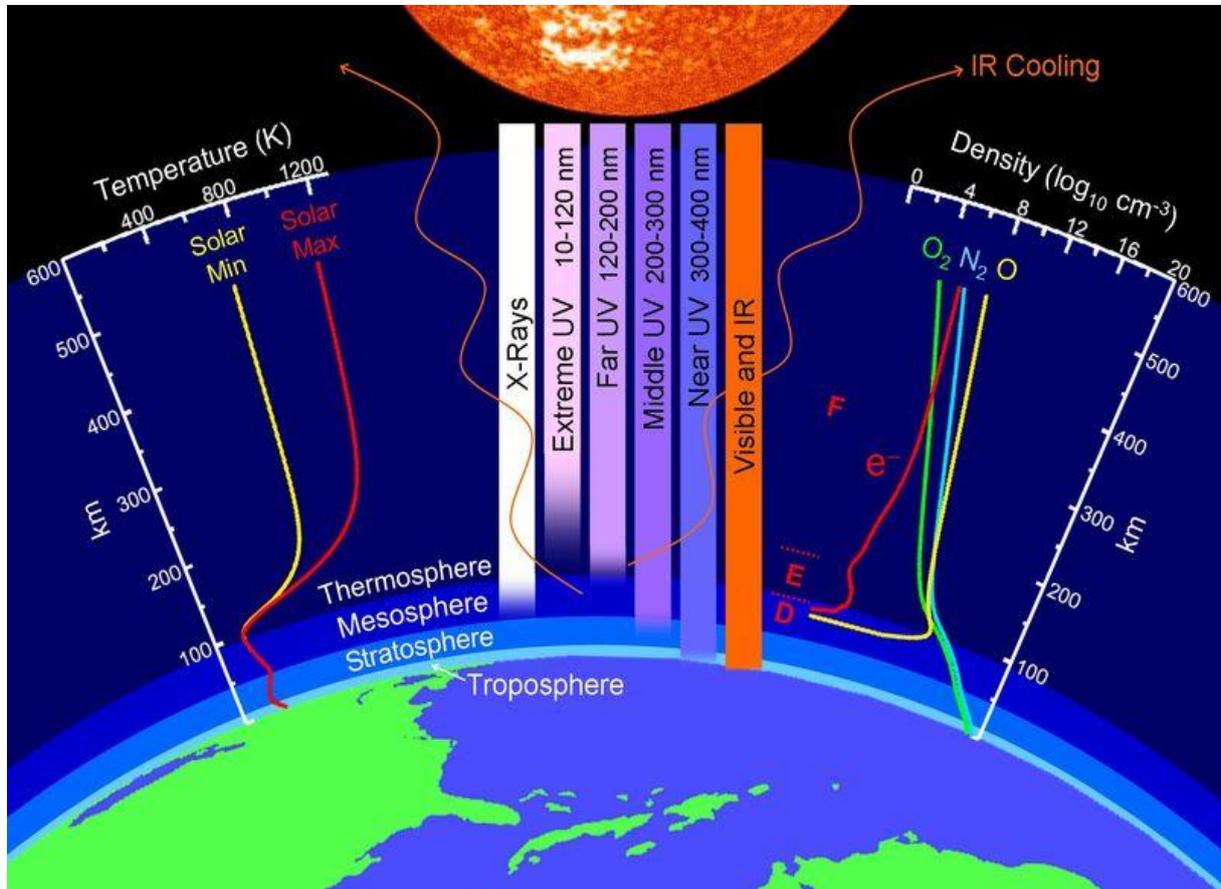


Figure I.7 : Rayonnement solaire

I.7.1 : Composante du rayonnement solaire :

Le rayonnement qui nous parvient du soleil est émis par sa surface extérieure dont la température est d'environ 6000 K. A une telle température, 40% de l'énergie est émise dans le domaine visible (gamme de longueur d'onde allant de 0,3 μm (violet - bleu) à 0,7 μm (rouge). La décomposition du rayonnement solaire peut être réalisée en projetant un faisceau lumineux sur un prisme de verre ou sur un réseau de diffraction. Tout un éventail de couleurs apparaît, du bleu au rouge en passant par le vert et le jaune [2].

Chacune de ces couleurs est associée à un rayonnement d'une certaine longueur d'onde. William Herschell (Vers 1800) qui étudiait le rayonnement solaire, avait placé un thermomètre derrière un tel prisme. Il s'aperçut qu'il indiquait une élévation de température (et donc qu'il recevait de l'énergie) non seulement dans le domaine visible mais également dans la région au delà du rouge. Ce fut la découverte du rayonnement infrarouge qui

représente 50% du rayonnement émis par le soleil. Les 10% restant du rayonnement solaire total sont émis à l'opposé du domaine visible, à des longueurs d'onde plus petites que celles du violet (l'ultra violet).

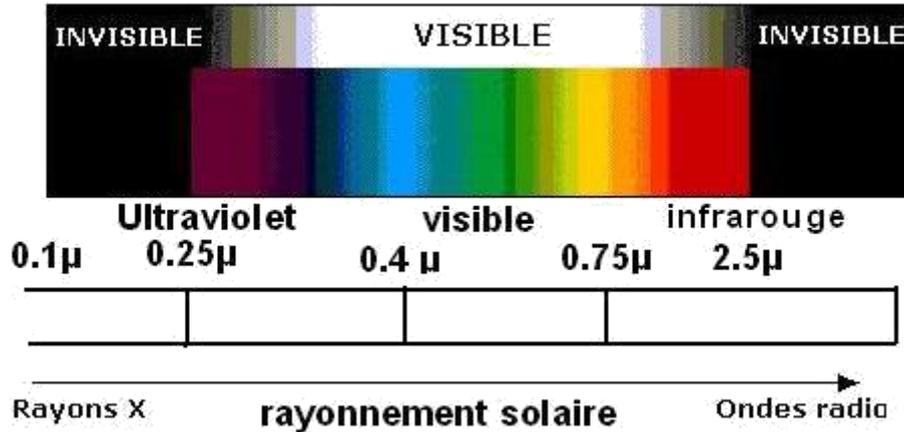


Figure I.8 : Le spectre du rayonnement solaire

I.7.2 : Rayonnement solaire arrivant au sol :

Le rayonnement solaire arrivant au sol a au moins deux composantes : une composante directe I et une composante diffuse D, le tout formant le rayonnement global G.

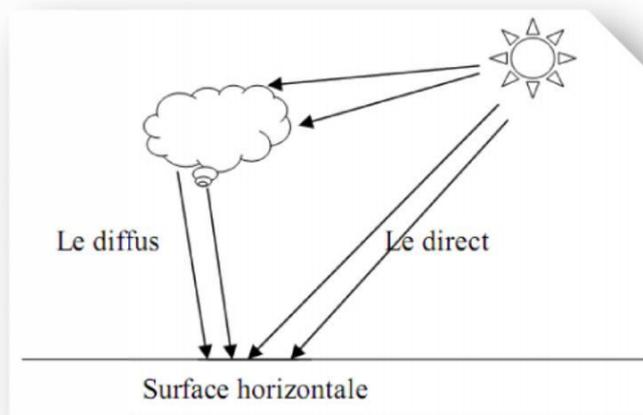


Figure I.9 : Les composantes du rayonnement solaire sur un plan horizontal

a- Le rayonnement direct :

C'est la composante parvenant directement de l'angle solide délimité par le disque solaire. C'est un rayonnement dont le parcours entre le soleil et la surface terrestre est direct.

b- Le rayonnement diffus :

Le rayonnement diffusé par les différents gaz constituant l'atmosphère, des rayons lumineux issus du Soleil traversent les nuages et se diffusent sur toute la surface de la Terre, il contribue à l'éclairement mais ne peut pas être concentré (à l'inverse du rayonnement direct).

c- Le rayonnement global :

On appelle rayonnement global le rayonnement solaire parvenant au niveau du sol sur une surface horizontale, soit directement, soit après diffusion. Il s'exprime simplement comme la somme du rayonnement diffus et du rayonnement direct.

$$G = I + D \quad (I.12)$$

I.8 : Orientation d'un plan :

Un plan quelconque est défini par deux angles (α , γ).

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.

Sa valeur peut être calculée par l'équation :

$$\gamma = 90^\circ - \beta' \quad (I.13)$$

β' : inclinaison du plan, c'est l'angle entre le plan et sa projection sur le plan horizontal.

Pour un plan horizontal : $\beta' = 0$ et $\gamma = 90^\circ$.

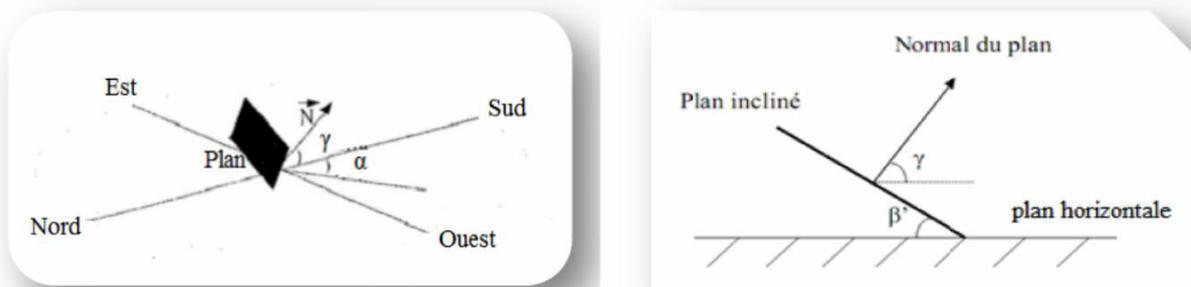


Figure I.10 : Orientation d'un plan quelconque

I.9 : Angle d'incidence des rayons solaires :

L'angle d'incidence du faisceau solaire avec un plan d'inclinaison et d'orientation quelconque (β' , γ) est l'angle formé par le vecteur directionnel du faisceau solaire et la normale sortante au plan.

- Pour un plan orienté plein sud :

$$\cos i = \cos \delta \cos \omega \cos \varphi - \beta' + \sin \delta \sin \varphi - \beta' \quad (I.14)$$

- Pour un plan orienté plein nord :

$$\cos i = \cos \delta \cos \omega \cos \varphi - \beta' + \sin \delta \sin \varphi + \beta' \quad (I.15)$$

Pour un plan horizontal ($\beta'=0$), $\cos(i) = \sin(h)$ d'après la relation **(I.4)**.

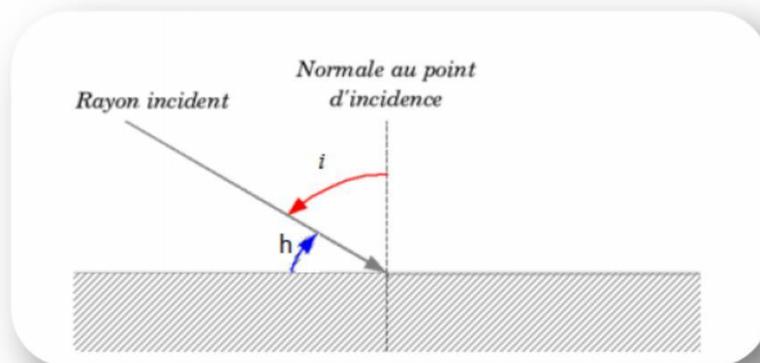


Figure I.11

Figure I.11 : Angle d'incidence sur un plan horizontale

I.10 : Constante solaire :

La valeur de flux de rayonnement solaire reçu par une surface perpendiculaire aux rayons solaires placée à la limite de l'atmosphère terrestre. Soit environ 80 km d'altitude, varie au cours de l'année avec la distance terre/soleil. Sa valeur moyenne est appelée la constante solaire. Cette valeur est estimée environ à 1367 W/m^2 [3].

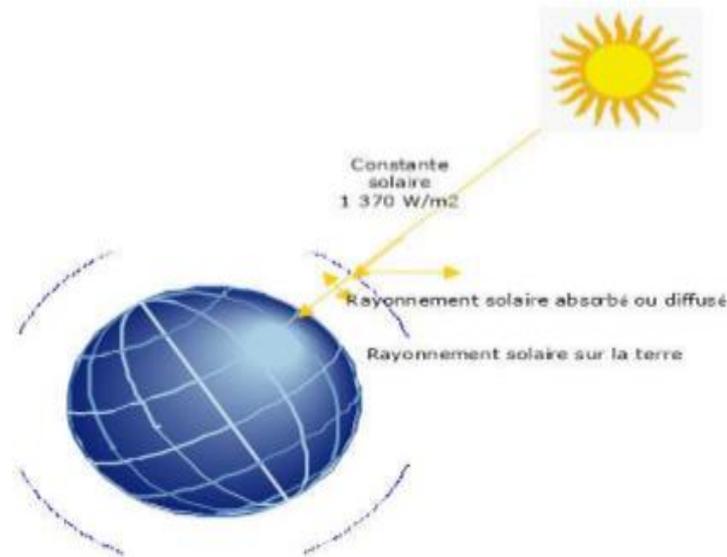


Figure I.12 : Rayonnement solaire reçu sur la terre

La relation ci-dessous donne la valeur corrigée de la constante solaire :

$$I_c = I_o (1 + 0.003 \cos 0.948 \cdot m) \quad (I.16)$$

Où : $I_o = 1367 \text{ W/m}^2$

m : Le numéro du mois dans l'année à partir du 1^{er} janvier.

I.11 : Notion de l'indice de Clarté :

Avant d'atteindre le sol, le rayonnement solaire est atténué par l'atmosphère terrestre et les nuages. Le rapport entre le rayonnement au sol et le rayonnement extraterrestre est appelé indice de clarté (K_t) :

$$K_t = G/G_0 \quad (I.17)$$

Où G est l'irradiation solaire reçu sur un plan horizontal.

La moyenne mensuelle de l'indice de clarté K_T varie selon les endroits et les saisons et varie généralement entre 0.3 (pour des régions qui ont des saisons pluvieuses) et 0.8 (pour des saisons ou des climats secs et ensoleillés).

I.12 : Le gisement solaire en Algérie :

L'Algérie possède un gisement solaire important, ainsi son climat, la puissance maximale en tout point dans le pays est d'environ (1 kW/m^2).

L'énergie journalière maximale moyenne (ciel clair, mois de juillet) dépasse les $6 \text{ kWh/m}^2/\text{jour}$ et l'énergie annuelle maximale moyenne en Algérie est de l'ordre $2500 \text{ kWh/m}^2/\text{an}$.

La carte ci-dessous représente les différentes zones énergétiques du monde :

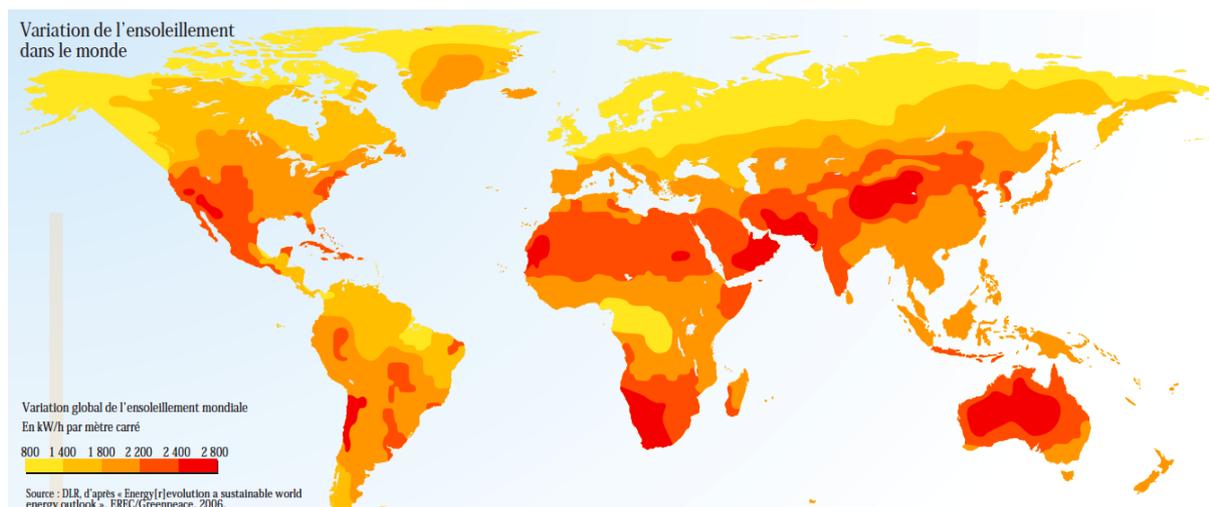


Figure I.13 : Carte du monde de l'ensoleillement moyen annuel [4]

La distribution de l'énergie reçue en Algérie, en moyenne annuelle, et en moyenne mensuelle est donnée par les figures ci-dessous. Elles présentent les différents niveaux énergétiques qui donnent ainsi un découpage du pays en régions iso-énergétiques.

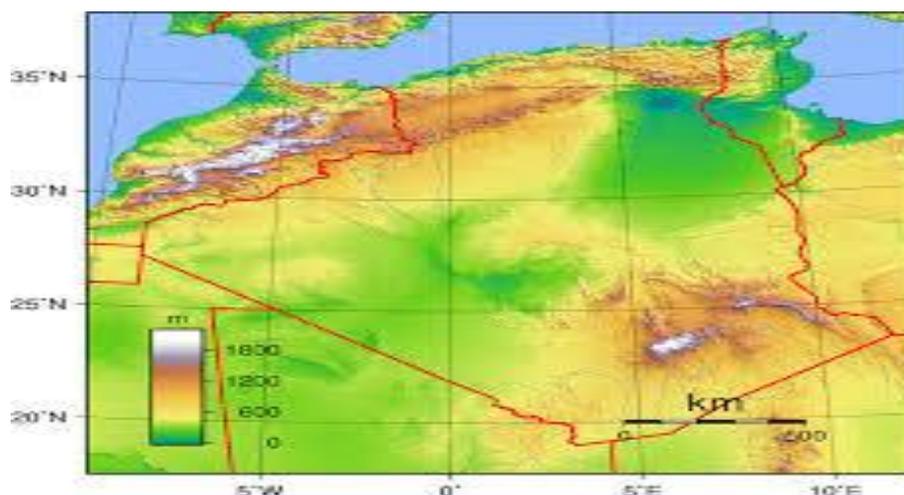


Figure I.14 : Moyenne annuelle de l'irradiation solaire globale reçue sur un plan incliné à la latitude du lieu [5]

I.13 : Conclusion :

Ce chapitre nous a permis d'introduire des notions de base nécessaires pour l'étude d'un gisement solaire, pour avoir une idée générale sur la base de cette énergie qu'on utilise pour atteindre notre objectif .

II.1 : Introduction :

Un capteur solaire thermique transforme le rayonnement solaire qu'il reçoit en énergie calorifique utilisable, le plus souvent par l'intermédiaire d'un fluide caloporteur (eau, air, ... etc.). Le schéma ci-dessous donne un aperçu général sur les différents composants de ce dernier.

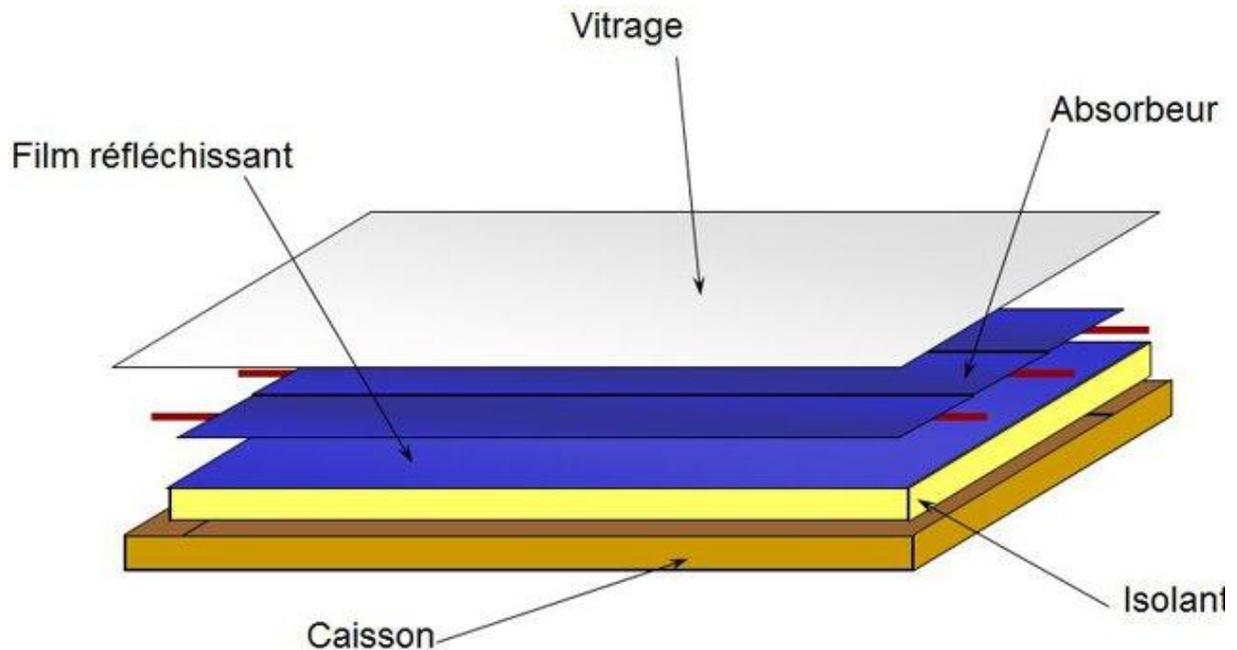


Figure II-01 : Schéma de principe d'un capteur solaire plan à air [06]

II.2 : Les différents composants du capteur solaire :

II.2.1 : 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.

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

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 ; ce phénomène est connu sous le nom de : **effet de serre**.

a- Définition de l'effet de serre :

Au cours de son existence, la terre a connu bien des avatars climatiques. La civilisation néolithique, créatrice de l'agriculture et dont nous sommes les héritiers directs, n'a pu prendre son essor qu'à partir du moment où les conditions climatiques ont permis le développement à grande échelle de la culture des céréales. Par contraste, des périodes de « mini-glaciation » se sont manifestées, en Europe, par de sévères baisses de rendements

agricoles et un renchérissement du blé. On sait aujourd'hui qu'une variation de température moyenne de quelques degrés suffit à bouleverser profondément les conditions de vie sur terre. On redoute que la déstabilisation que subit l'atmosphère de la planète depuis plus d'un siècle n'exerce sur le climat une influence significative qui risque de provoquer bon nombre de crises dues, en particulier, aux bouleversements de la géographie agricole de la terre. La température de l'atmosphère terrestre est réglée par un ensemble d'interactions thermiques, mécaniques et chimiques dont nous commençons à peine à décrypter la complexité. Mais à la base de tous ces échanges, il y a évidemment le soleil, pourvoyeur d'énergie primaire, source quasiment unique de toute énergie, de toute vie sur terre.

II.2.1.b : Les mécanismes de l'effet de serre :

Le soleil chauffe la terre de ses rayons et l'amène à une température sous laquelle la vie est devenue possible. Le globe terrestre reçoit un flux permanent d'énergie solaire et devrait donc voir sa température croître indéfiniment s'il n'existait un mécanisme compensateur. En vertu d'une loi bien établie de la physique, si la terre présente une température absolue non nulle, elle doit à son tour émettre de l'énergie sous forme de rayonnements ; c'est le principe du « corps noir » qui dit que tout corps porté à une température (absolue) donnée, non nulle, rayonne une énergie proportionnelle à la quatrième puissance de cette température. Ainsi donc, la terre chauffée par le soleil, dissipe-t-elle à son tour, par rayonnement, une énergie strictement égale à l'énergie reçue, ce qui conditionne la stabilité de sa température. Cet équilibre est décrit par une équation simple, qui s'écrit comme suit :

Energie reçue du soleil par la terre = Energie réémise par la terre

Il est possible de dresser un bilan assez précis des flux d'énergie qui aboutissent à cet équilibre. Le graphique ci-dessous dresse un schéma simplifié de l'importation et de l'exportation d'énergie dont la terre est le siège. L'énergie du soleil est importée sous forme de lumière visible et d'infrarouge (proche) sous un flux de **1368 W/m²** à l'entrée de l'atmosphère. Ce qui correspond à une énergie phénoménale, nous l'avons déjà signalé. En effet, l'hémisphère éclairé de la terre reçoit un flux lumineux d'une puissance de **178 10¹⁵ W**. Une partie de ce rayonnement (lumière visible et IR) est réfléchi directement vers l'espace et constitue ce que l'on appelle l'« albédo » de la terre. Le solde du rayonnement, soit **69 % (122,8 10¹⁵ W)** est absorbé par l'atmosphère et par le sol, ce qui a pour conséquence d'échauffer la terre et de maintenir sa température moyenne à **15°C**, température qui détermine, à la fois l'intensité de la réémission de rayonnement vers l'espace (presque exactement **122,8 10¹⁵ W**) et sa longueur d'onde (infrarouge lointain : autour de **10 μm**). Cet équilibre entre l'influx et l'efflux d'énergie garantit la stabilité (relative) de la température de la terre. Mais, avant d'être réémise vers l'espace, cette énergie lumineuse se sera transformée à raison de **67 %** en chaleur et en lumière ; à raison de **33 %**, elle aura dynamisé le cycle de l'eau sur terre ; une fraction de **0,33 %** aura développé les courants aériens et marins et, enfin, **0,11 %** de cette puissance aura alimenté en énergie la synthèse chlorophyllienne.

Remarquons d'emblée la différence qualitative entre le rayonnement incident et le rayonnement réémis par la terre : les gaz atmosphériques sont relativement transparents à la lumière du soleil (longueur d'onde autour de **0,55 μm**) qui parvient presque intacte à la surface du globe, mise à part la fraction réfléchiée par les nuages et absorbée par les aérosols. En revanche, il en va tout autrement pour le rayonnement infrarouge lointain (longueur d'onde autour de **10 μm**) émis par la terre. Pour ce rayonnement, certains gaz présents en traces dans l'air constituent une barrière qui absorbe partiellement les infrarouges. L'atmosphère s'échauffe ainsi quelque peu pour se stabiliser à la température que nous lui connaissons, température supérieure de **33 degrés** à celle qui règnerait sans la présence de ces gaz. Cet obstacle dressé par les gaz à l'état de traces devant les rayons IR a été comparé au vitrage d'une serre qui bloque la chaleur, retient les calories et permet d'atteindre, sous la verrière, des températures supérieures à celles qui règnent à l'extérieur. Les quinze degrés centigrades de température moyenne à la surface du globe sont donc le résultat de l'échauffement direct par le soleil et de l'échauffement par effet de serre *naturel* : sans cet effet, la vie sur terre serait impossible ou, à tout le moins, serait-elle limitée à une étroite bande de part et d'autre de l'équateur.

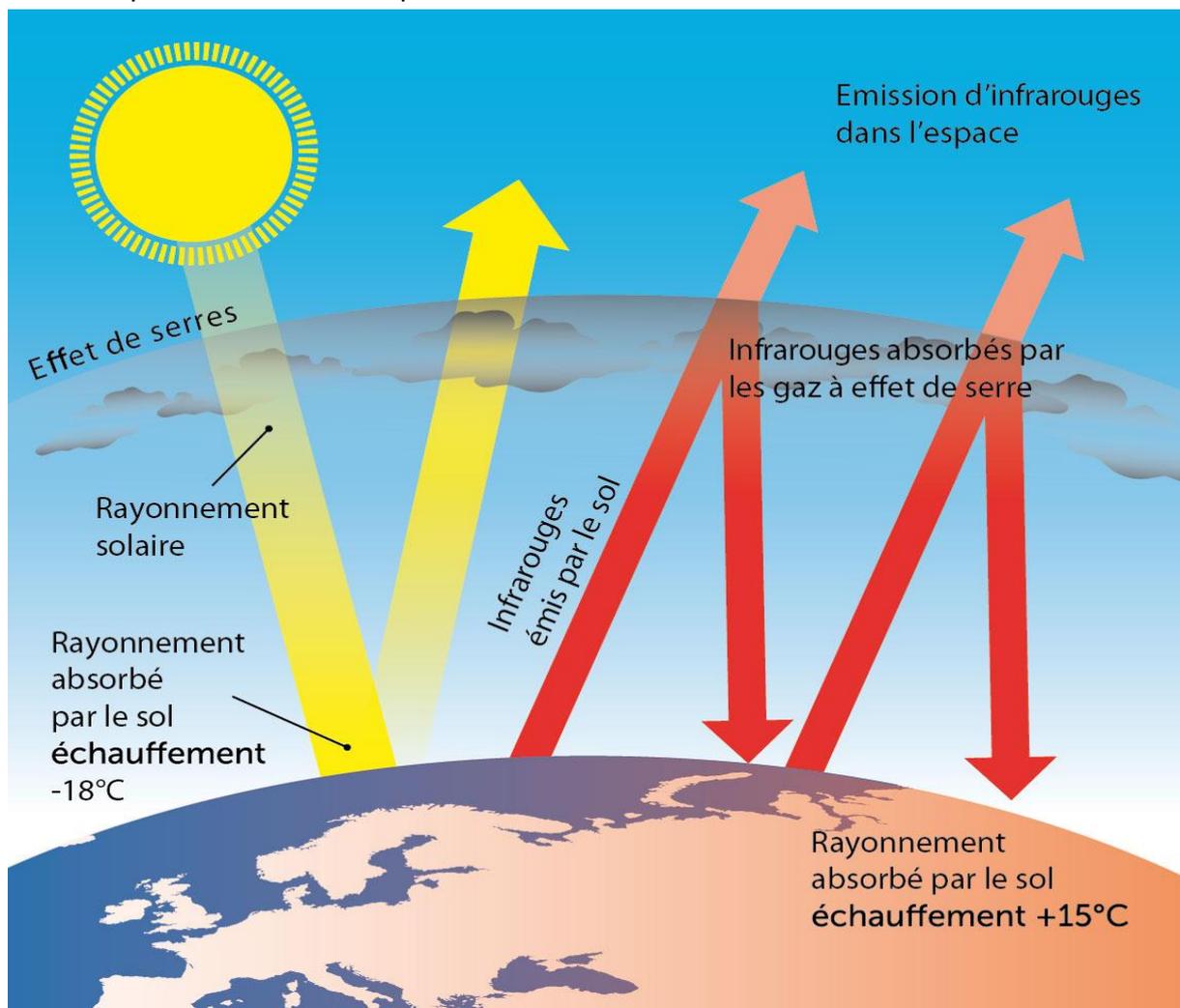


Figure II-02 : Le mécanisme de l'effet de serre [07]

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 : Réduire la teneur en fer d'un verre permet d'améliorer efficacement la transmission de la lumière et le rendre moins absorbant aux rayonnements solaires et par conséquent, d'optimiser le rendement thermique des collecteurs solaires.
- il doit être doté d'une surface structurée permettant de réduire les reflets directs : Utilisation des couches poreuses de silice comme revêtement antireflet ; Un revêtement à l'aide d'une couche poreuse de silice de 110 nm et d'une porosité d'environ 35% augmenterait la transmission de la lumière d'un verre de borosilicate à 550 nm de 92% à 97%. La transmission lumineuse obtenue à l'aide d'un verre doté d'une couche de revêtement à base de SiO_2 poreux par procédé sol-gel, en comparaison avec le taux de transmissivité obtenu avec un verre ordinaire.

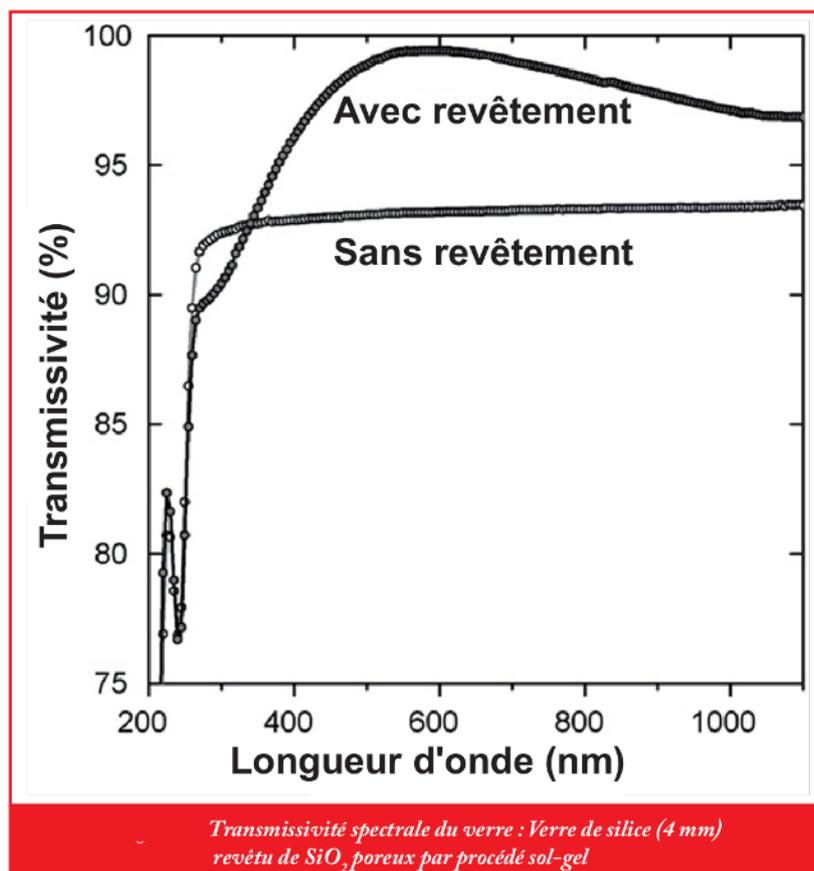


Figure II-03 : Transmissivité spectrale du verre (avec et sans revêtement) [08]

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 d'incidence i et de la nature du rayonnement (direct ou diffus).

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.

b- Transparence du verre :

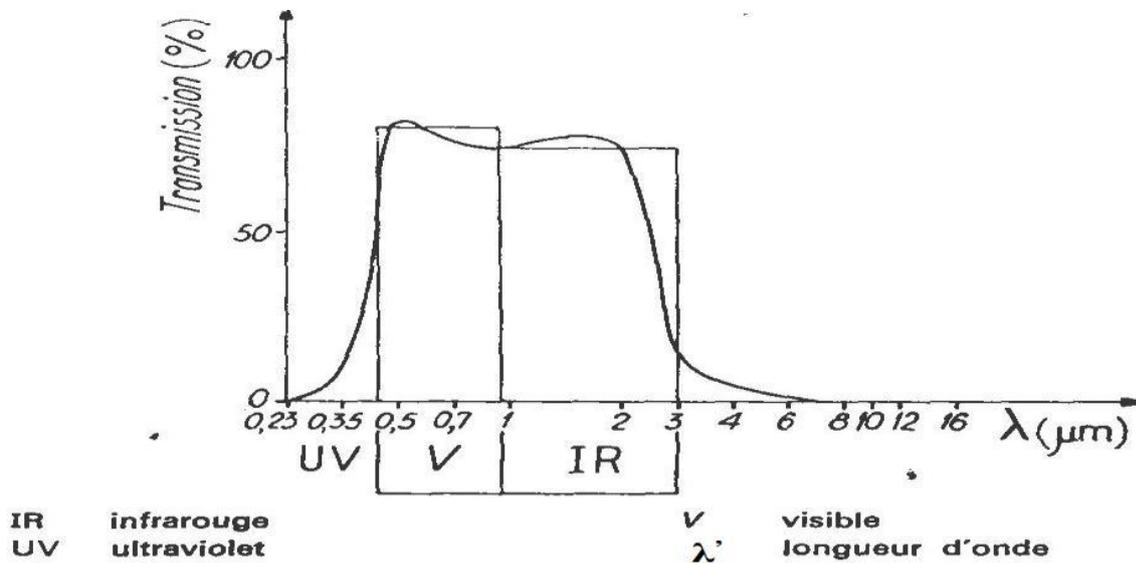


Figure II-04 : Transparence du verre [09]

II.2.1.a : La composition du verre :

Les verres ont pour composition :

- un corps vitrifiant, la silice, introduit sous forme de sable (70 à 72%).
- un fondant, la soude, sous forme de carbonate et sulfate (environ 14%).
- un stabilisant, la chaux, sous forme de calcaire (environ 10%).
- divers autres oxydes tels que l'alumine, la magnésie, améliorant les propriétés physiques du verre, notamment la résistance à l'action des agents atmosphériques.
- pour certains types de vitrage, l'incorporation de divers oxydes métalliques permet la coloration.

II.2.1.b : Quelques propriétés physiques et mécaniques du vitrage :

- Densité :

La densité du verre est de 2,5 soit une masse de 2,5 kg par m² et par mm d'épaisseur pour les vitrages plans. La masse volumique, exprimée dans le système d'unités légales, est de 2500 kg/m³. Un m² de verre 4 mm a donc une masse de 10 kg.

- Résistance à la compression :

La résistance du verre à la compression est très élevée : 1000 N/mm² ou 1000 MPa. Ceci signifie que, pour briser un cube de verre de 1 cm de côté, la charge nécessaire est de l'ordre de 10 tonnes.

- Résistance à la flexion :

Un vitrage soumis à la flexion a une face en compression et une face en extension. La résistance à la rupture en flexion est de l'ordre de :

- 40 MPa (N/mm^2) pour un verre float recuit.
- 120 à 200 MPa (N/mm^2) pour un verre trempé (suivant épaisseur, façonnage des bords et type d'ouvrage). La valeur élevée de la résistance du verre trempé est due au fait que son traitement met les faces du vitrage en forte compression.

- **Elasticité :**

Le verre est un matériau parfaitement élastique : il ne présente jamais de déformation permanente. Il est cependant fragile, c'est-à-dire que, soumis à une flexion croissante, il casse sans présenter de signes précurseurs.

- **Module de Young (E) :**

Ce module exprime la force de traction qu'il faudrait théoriquement appliquer à une éprouvette de verre pour lui communiquer un allongement égal à sa longueur initiale. Il s'exprime en force par unité de surface. Pour le verre, selon les normes européennes :

$$E = 7 \times 10^{10} \text{ Pa} = 70 \text{ GPa.}$$

- **Coefficient de Poisson (Ó) :** (coefficient de contraction latérale)

Lorsqu'une éprouvette subit un allongement sous l'influence d'une contrainte mécanique, on constate un rétrécissement de sa section. Le coefficient de Poisson Ó est le rapport entre le rétrécissement unitaire sur une direction perpendiculaire au sens de l'effort et l'allongement unitaire dans la direction de l'effort. Pour les vitrages du bâtiment, la valeur du coefficient Ó est de 0,2.

II.2.2 : Absorbeur :

L'absorbeur est un élément essentiel du capteur solaire. Il doit absorber la plus grande partie du rayonnement solaire et transmettre la chaleur produite vers le fluide caloporteur avec un minimum de perte.

Il doit être le plus léger possible afin d'éviter l'inertie de mise en régime et construit avec un matériau bon conducteur. A ces deux qualités, il faut ajouter celles d'ordre mécanique et chimique (bonne tenue à la pression, à la dilatation, résistance à la corrosion, fiabilité dans le temps).

D'autre part il doit être réalisé de manière à être économiquement rentable. Le contact entre l'absorbeur et le fluide caloporteur doit être le meilleur possible. Les deux matériaux les plus employés restent le cuivre et l'aluminium.

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

- ϵ : coefficient d'émission

Un tel traitement de surface peut être obtenu par des procédés électrochimiques ou électro-physiques de nombreux progrès ont été réalisés dans ce domaine.

Support et traitement	Absorptivité (α)	Emissivité (ϵ)
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	0.74	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 [10]

II.2.3 : Isolation :

Les isolants pour la face arrière des capteurs les plus souvent utilisés sont les fibres minérales (laine de verre ou laine de roche) ou les mousses de polyuréthane.

Il faut que les produits utilisés résistent aux températures de fonctionnement qui dépassent largement les 100 °C pour les capteurs modernes.

Les isolants tels que le polystyrène sont donc à exclure (il commence à mollir et à fondre à partir de 80°C).

Dans le cas d'utilisation de laines minérales, il convient de veiller à ce qu'elles restent sèches, car l'humidité altère les performances thermiques de ces matériaux.

L'épaisseur varie de 4 à 8 cm. Il faut que les produits utilisés résistent aux températures de fonctionnement.

II.2.4 : Le Coffre :

Le coffre du capteur renferme les différents actifs. Il devra donc assurer une protection efficace aux agents atmosphériques.

Les coffres de capteurs sont réalisés soit en fine feuille de métal (acier galvanisé, aluminium, inox) avec protection par revêtement stable aux intempéries.

Le coffre ou cadre doit permettre d'assurer sa fixation sur la couverture tout en lui permettant de se déplacer librement. Le vitrage est généralement posé avec un joint.

II.3 Différents types de capteurs solaires : (selon la géométrie)

L'industrie a pu classer les capteurs solaires en deux types : à concentration et à non concentration.

II.3.1 : Capteurs à concentration :

Ces capteurs utilisent des surfaces réfléchissantes (miroirs) paraboliques ou cylindro-paraboliques pour concentrer les rayons solaires respectivement dans le foyer ponctuel ou dans le foyer linéaire de ces surfaces. Dans le foyer ponctuel ou le long du foyer linéaire se trouvent les récepteurs (absorbeurs) qui captent la chaleur solaire ainsi concentrée. Naturellement ces concentrateurs doivent suivre le mouvement du soleil.

II.3.1.1 Capteur cylindro-parabolique :

C'est un capteur à concentration à foyer linéaire utilisant un réflecteur cylindrique de section Parabolique. Les miroirs cylindro-paraboliques alignés concentrent la chaleur. Le circuit du fluide caloporteur passe au centre de chaque miroir et traverse l'ensemble du champ de capteurs.



Figure II-05 : Capteur cylindro-parabolique

II.3.1.2 : Capteur parabolique :

Les capteurs paraboliques fonctionnent d'une manière autonome. Ils suivent le soleil sur 02 axes afin de concentrer le rayonnement solaire sur le foyer de la parabole réfléchissante.

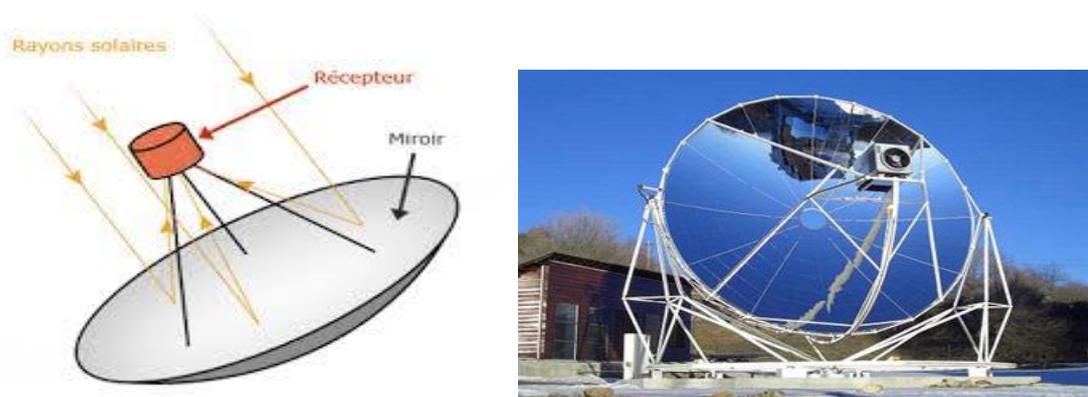


Figure II-06 : Capteur parabolique

II.3.1.3 Cheminée solaire :

Son fonctionnement se base sur un principe simple : l'air chaud étant plus léger que l'air froid, il s'élève. Une serre gigantesque, le « collecteur », placée tout autour de la cheminée centrale, chauffe l'air grâce au soleil et provoque un vent puissant exploité par des turbines situées à l'embouchure de la cheminée pour produire de l'électricité.

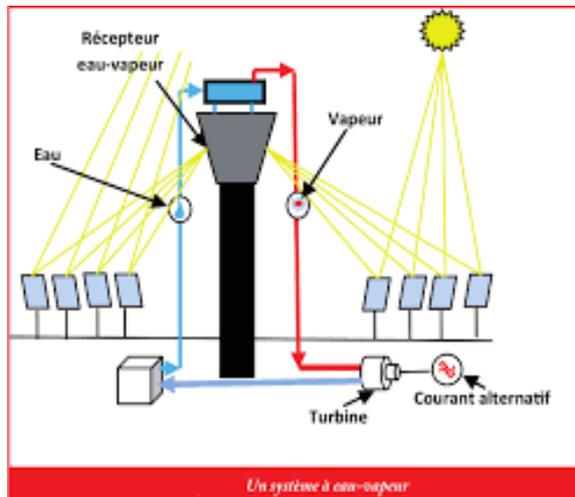


Figure II-07 : Cheminée solaire

II.3.1.4 : Cuiseur solaire :

Une plaque de carton recouverte d'une feuille d'aluminium et découpée de façon à former une coquille permet déjà d'obtenir l'échauffement d'une marmite (de préférence noire) placée dans un sac en plastique transparent limitant les pertes en chaleur et en vapeur d'eau.

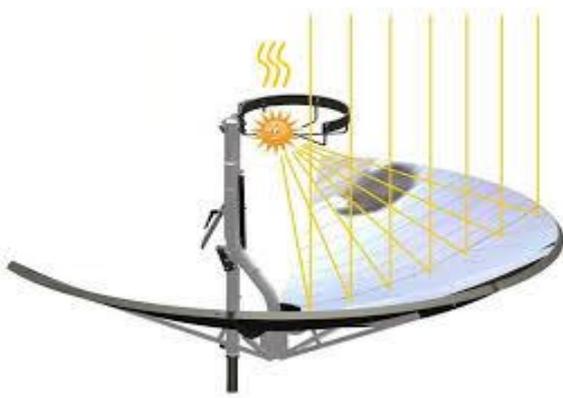


Figure II-08 : Cuiseur solaire

II.3.2 : Capteurs solaires plans (non concentration) :

Les capteurs à surfaces reçoivent directement le rayonnement solaire à partir du soleil, sans accent.

II.3.2.1 : Capteur solaire plan :

Trois fonctions incombent à ces capteurs, absorber le rayonnement solaire, le transformer en chaleur et transmettre cette chaleur au fluide caloporteur. Pour absorber au maximum l'énergie rayonnée du soleil, il suffit d'une surface plane placée de façon judicieuse ; cette surface doit être dotée du coefficient d'absorption de la couche superficielle le plus élevé possible.

II.4 : Le choix du capteur solaire : (selon les températures)

Trois types de capteurs existent : capteur plan vitré, non vitré et capteur sous vide. Ils sont caractérisés par deux coefficients :

- coefficient de captage de l'énergie incidente (B- coefficient optique).
- coefficient de conservation d'énergie dans le capteur (K appelé coefficient de pertes).

Chaque type de capteur aura un rendement différent suivant l'écart de température entre l'intérieur du capteur et l'extérieur.

II.4.1 : Capteur moquette :

Le « capteur-moquette » ou « moquette solaire » est un capteur rudimentaire qui a un très bon rendement pour des plages de températures inférieures à 30 °C, correspondant au réchauffage de l'eau d'une piscine en été. Il apporte quelques degrés à la température de l'eau et permet d'augmenter la période d'utilisation de la piscine.

II.4.2 : Capteur plan vitré :

Le capteur plan vitré reste le capteur le plus répandu (vu précédemment).

Fonctionnement : Une partie du rayonnement qui arrive sur le vitrage traverse celui-ci pour atteindre l'absorbeur. Ce dernier s'échauffe et transmet la chaleur au fluide caloporteur qui circule dans les tubes. Comme tout corps qui s'échauffe, l'absorbeur émet un rayonnement (en grande partie dans les infrarouges) qui est d'une part absorbé par le vitrage, d'autre part réfléchi par le film placé sur l'isolant.

L'isolant a pour fonction de limiter les déperditions thermiques avec l'extérieur. En effet, le maximum d'énergie doit être transmis au fluide, il faut donc limiter les pertes avec l'environnement proche.

II.4.3 : Le capteur sous vide :

L'idée est de limiter les pertes des capteurs grâce au vide, le meilleur isolant. On retrouve les trois éléments à des emplacements différents suivant les technologies :

- capteur sous vide à concentration : avec un réflecteur parabolique externe au tube qui doit être nettoyé 1 à 2 fois/an ou interne qui ne nécessite pas d'entretien.

- capteur plan dans un capteur sous vide : l'absorbeur est orientable afin de rattraper des défauts d'orientation.

- Un fluide se fait chauffer par le rayonnement du soleil à travers un tube dans lequel le vide a été fait. Le fluide peut passer directement dans le tube ou alors il reste seulement dans le collecteur et un contact sec assure l'échange thermique entre le fluide du tube qui circule en évaporation – condensation (principe du caloduc) et le fluide qui transmet la chaleur au ballon de stockage. Ce dernier principe aura l'avantage de pouvoir démonter facilement le tube sans vidanger l'installation.

Ils peuvent atteindre des hautes températures (150 °C) avec des rendements corrects. Ils sont généralement utilisés pour climatiser ou pour la production d'eau chaude haute température.

Leur coût reste important mais diminue ces dernières années.

Différentes technologies existent : un « capteur plan » intégré dans un tube sous vide, capteur sous vide à caloduc...

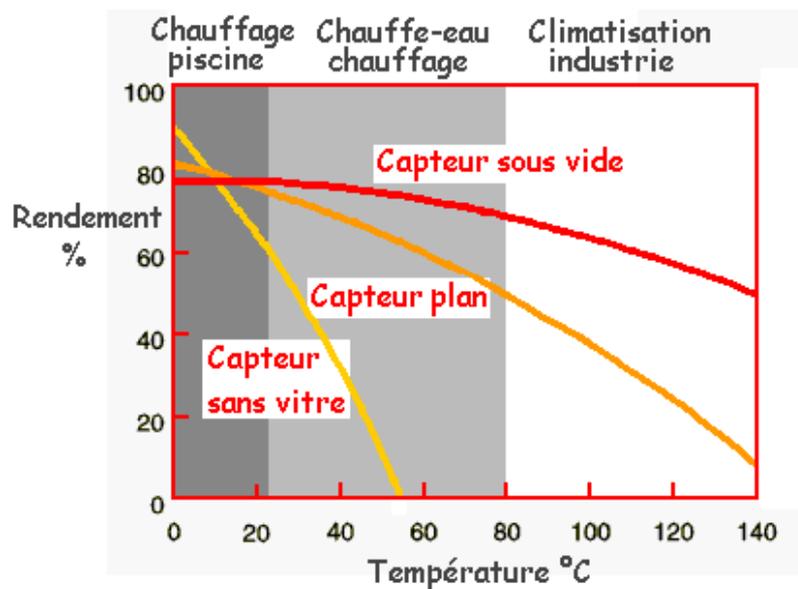


Figure II-09 : Rendement des différents capteurs [11]

Le choix du capteur :

Les courbes de rendement des capteurs montrent que pour un ensoleillement constant, les performances des capteurs baissent lorsque l'on demande au capteur de «travailler» à une température éloignée de la température extérieure. Ceci est dû tout simplement aux déperditions thermiques qui augmentent avec la température (de manière linéaire pour les phénomènes de convection et conduction et à la puissance 4 pour les pertes par rayonnement). Il faut donc, pour tirer meilleur parti des capteurs, utiliser une technologie qui correspond le mieux aux niveaux de températures sur lesquels on veut travailler. Un capteur sous vide aura un rendement 30% supérieur à un capteur plan vitré pour produire de l'eau à 90 °C. Par contre il sera moins performant qu'un capteur moquette pour réchauffer l'eau d'une piscine de deux degrés par rapport à la température ambiante.

II.5 Applications des capteurs solaires :

II.5.1 : Chauffage des locaux :

Le principe de fonctionnement est simple ; il consiste à faire circuler le fluide caloporteur (air) à l'aide d'un ventilateur pour le ramener au point de l'utilisation voulue (les pièces du local), comme le montre la figure ci-contre :

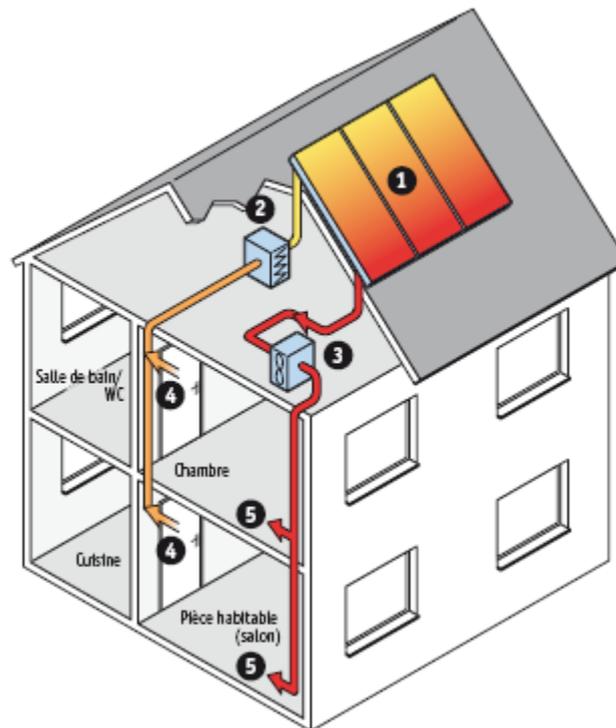


Figure II-10 : Local chauffé [12]

- 1- (capteur solaire plan à air) ; 2- (filtre à air) ; 3- (ventilateur) ; 4- (entrée d'air) ;
- 5- (sortie d'air).

II.5.2 : Séchage :

Utilisation des capteurs solaires à air pour le séchage des différents produits (riz, tabac fèves, café, thé ...etc.), reste le secteur le plus prometteur vu qu'il est facile d'obtenir les températures nécessaires.

Il permet aussi d'encourager la petite entreprise et les fabrications artisanales (vu que le coût des panneaux est abordable, et il est facile à installer).

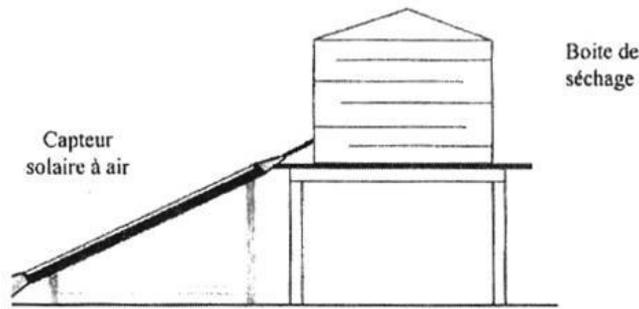


Figure II-11 : Séchage solaire

II.6 : Etude et bilan énergétique d'un capteur plan à air muni d'un double vitrage :

Cette étude est consacrée et adoptée à notre réalisation. Elle a pour but d'estimer et de faire des approches pour les différents enjeux énergétiques (gains et pertes). Pour cela, un bilan énergétique pour chaque élément du capteur, en prenant compte de tous les paramètres, est nécessaire.

II.6.1 : Différents modes de transferts thermiques dans un capteur solaire :

Un capteur solaire met en jeu simultanément les trois modes de transfert thermique, à savoir la conduction, la convection et le rayonnement.

II.6.1.1 : Conduction :

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

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

$$\Phi = -k \cdot A \cdot \text{grad } T \quad (\text{II-1})$$

Φ : Flux de chaleur. [W]

k : coefficient de conductivité thermique. [W/m.K]

A : surface d'échange [m²].

II.6.1.2 : Convection :

La convection est un transport d'énergie dû à des mouvements macroscopiques, on distingue deux types de convection.

II.6.1.2.a : Convection forcée :

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

II.6.1.2.b : Convection naturelle :

Le mouvement du fluide est engendré par les variations de densité causées par des variations de température au sein du fluide.

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

$$Q = h \cdot S \cdot (T_p - T_f) \quad (II-2)$$

Q : le flux échangé par convection [W].

h : coefficient de convection [$W/m^2.K$].

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

T_p : température de la paroi solide [K].

T_f : température du fluide [K].

II.6.1.3 : Rayonnement :

Par rayonnement la transmission se fait au moyen d'ondes électromagnétiques qui traversent un milieu qui leur est transparent ; lorsque les ondes rencontrent un obstacle, elles leur cèdent une partie de leur énergie sous forme de chaleur ; ce mode de transmission ne nécessite pas un milieu particulier ; il peut aussi se produire dans le vide.

$$q = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \quad (II.3)$$

q : densité de flux de chaleur émis par le corps [W].

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

ε : émissivité thermique du matériau.

T : température du corps en [K].

II.6.2 : Les puissances absorbées :

Considérons un flux incident sur un corps (capteur), une partie de cette radiation est réfléchi, une autre partie est absorbée et l'autre est transmise. On adopte les trois coefficients suivants : α , ρ et τ

- **α** : facteur d'absorption.
- **ρ** : facteur de réflexion.
- **τ** : facteur de transmission.

La relation entre les différents coefficients est donnée comme suit :

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

II.6.2.1 La puissance absorbée par la couverture transparente :

II.6.2.1.a : La puissance absorbée par la vitre supérieure :

$$P_{v1} = P_{dir} \alpha_{v1-dir} + P_{dif} \alpha_{v1-dif} \quad (\text{W/m}^2) \quad (\text{II.5})$$

II.6.2.1.b La puissance absorbée par la vitre inférieure :

$$P_{v2} = \tau_{dir} P_{dir} \alpha_{v2-dir} + \tau_{dif} P_{dif} \alpha_{v1-dif} \quad (\text{W/m}^2) \quad (\text{II.6})$$

Où :

τ_{dir} : est le coefficient de transmission de la vitre supérieure.

II.6.2.2 : Puissance absorbée par le corps noir (canettes) :

$$Q = U \frac{\alpha_p}{1 - \rho_v \rho_p} = U \cdot A \quad (\text{II.7})$$

Avec :

$$A = \frac{\alpha_p}{1 - \rho_v \rho_p} \quad (\text{II.8})$$

$$U = \frac{P_g \tau_v^2}{1 - \rho_v^2} \quad (\text{II.9})$$

P_g : La puissance globale [W]

τ_v Et ρ_v sont respectivement le facteur de transmission et de réflexion du double vitrage (les deux plaques de verre sont identiques et elles ont les mêmes caractéristiques).

La fraction τ_v de la radiation solaire incidente est transmise vers la première couche d'air, un nombre infini de réflexions à l'intérieur de cette couche, le flux solaire entrant dans la deuxième couche d'air est déterminé par l'expression (II.9).

La radiation solaire réfléchi par l'absorbeur est transmise vers la première couche d'air, elle est donnée comme suit :

$$R_1 = U \frac{\rho_p \tau_v}{1 - \rho_v \rho_p} = U \cdot B \quad (\text{II.10})$$

La radiation solaire transmise vers la deuxième couche d'air après une multitude de réflexion dans la première couche d'air est exprimée par :

$$R_2 = R_1 \frac{\rho_v \tau_v}{1 - \rho_v^2} = R_1 \cdot C = U \cdot B \cdot C \quad (\text{II.11})$$

Après une plusieurs réflexions dans la seconde couche d'air, la fraction (**A**) du flux solaire (**R₂**) est absorbée, le processus peut être répété pour donner la quantité totale de la radiation solaire absorbée par les canettes (corps noir).

La puissance totale absorbée par la plaque est donnée par le polynôme suivant :

$$P = U.A + U.A B.C^1 + U.A B.C^2 + UA(B.C)^3 + \dots + U.A B.C^n \quad (\text{II.12})$$

Après une approche mathématique de ce polynôme, on obtient :

$$P = \frac{P_g \tau_v^2 \alpha_p}{1 - \rho_v^2 \quad 1 - \rho_v \rho_p \quad -(\rho_p \rho_v \tau_v^2)} \quad (\text{II.13})$$

II.6.3 : Les pertes :

L'intégralité des pertes de chaleur sont données par la relation suivante :

$$Q_{Pt} = U_{Pt} \cdot A_c \cdot (T_{Pm} - T_a) \quad (\text{II.14})$$

A_c : surface du capteur.

T_a : température de l'air extérieur.

U_{pt} : coefficient global des pertes de chaleur, défini comme suit :

$$U_{Pt} = U_{arr} + U_{lat} + U_{av} \quad (\text{II.15})$$

T_{pm} : température moyenne de la couche absorbante, définie comme suit :

$$T_{Pm} = \frac{3T_{Fs} + T_{Fe}}{4} + \Delta T \quad (\text{II.16})$$

T_{Fs} : température du fluide à la sortie du capteur.

T_{Fe} : température du fluide à l'entrée la sortie du capteur.

ΔT : L'écart de température existant entre le fluide caloporteur et la paroi absorbante.

Les pertes par le fond du capteur sont dues à la conduction par l'isolant arrière.

Le coefficient des pertes de chaleur par unité de surface par l'arrière du capteur s'écrit :

$$U_{arr} = \frac{\lambda_i}{e_i} \quad (\text{W/m}^2 \cdot \text{K}) \quad (\text{II.17})$$

λ_i : Conductivité thermique de l'isolant.

e_i : Épaisseur de l'isolant.

Le coefficient des pertes latérales par unité de surface est :

$$U_{lat} = \frac{\lambda_{i,lat} \cdot e_b \cdot P_b}{e_{lat} \cdot S} \quad (\text{II.18})$$

$\lambda_{i,lat}$: Conductivité thermique de l'isolant latéral.

e_b : Épaisseur du boîtier.

P_b : Périmètre du boîtier.

e_{lat} : Épaisseur de l'isolant latérale.

Les pertes avant sont dues à la convection et aux radiations entre la surface absorbante et la face extérieure de la couverture. Le coefficient des pertes avant est comme suit :

$$U_{av} = \frac{1}{R_i + R_e + R_c} \quad (II.19)$$

R_i : résistance intérieure opposant le transfert entre la surface de captation et la surface de la vitre intermédiaire.

$$R_i = \frac{1}{H_{VPv2} + H_{rPv2}} \quad (II.20)$$

R_e : résistance extérieure opposant le transfert le transfert convectif et radiatif entre la surface de la vitre supérieure et l'environnement.

$$R_e = \frac{1}{H_{Vv1a} + H_{rv1c}} \quad (II.21)$$

R_c : la résistance opposant le transfert entre la surface de la vitre supérieure et la vitre inférieure.

$$R_c = \frac{1}{H_{Vv1v2} + H_{rv1v2}} \quad (II.22)$$

R_i , R_c , R_e sont données en $[m^2.K/W]$

Finalement on aura :

$$U_{av} = \frac{1}{H_{VPv2} + H_{rPv2}} + \frac{1}{H_{Vv1a} + H_{rv1c}} + \frac{1}{H_{Vv1v2} + H_{rv1v2}}^{-1} \quad (II.23)$$

Avec :

H_{VPv2} : Coefficient d'échange thermique par convection entre la vitre intermédiaire et l'absorbeur ($W/m^2.K$).

H_{rPv2} : Coefficient d'échange thermique par rayonnement entre la vitre intermédiaire et l'absorbeur ($W/m^2.K$).

H_{Vv1a} : Coefficient d'échange thermique par convection entre la vitre de protection et l'ambiance ($W/m^2.K$).

H_{rv1c} : Coefficient d'échange thermique par rayonnement entre la vitre supérieure et le ciel. ($W/m^2.K$).

H_{Vv1v2} : Coefficient d'échange thermique par convection entre la vitre supérieure et la vitre inférieure ($W/m^2.K$).

H_{rv1v2} : Coefficient d'échange thermique par rayonnement entre la vitre supérieure et la vitre inférieure ($W/m^2.K$).

II.7 : Performances d'un capteur solaire plan :

La performance thermique d'un capteur plan est de déterminer son rendement instantané défini par la relation suivante :

$$\eta = \frac{\rho \cdot C_p \cdot Q \cdot (T_f - T_e)}{IG \cdot A_c} \quad (II.24)$$

η : rendement instantané du capteur plan.

ρ : la masse volumique (kg/m^3) ; pour l'air $\rho = 1.293 \text{ kg/m}^3$.

Q : débit volumique (m^3/s).

C_p : chaleur spécifique (J/kg K) ; pour l'air $C_{pa} = 1005 \text{ J/kg.K}$.

T_e et T_f respectivement la température de l'air à l'entrée et la sortie du capteur (K).

A_c : surface du capteur (m^2).

IG : densité de flux solaire global incident (W/m^2).

II.8 : Les différents paramètres influant sur le rendement du capteur solaire :

Le rendement d'un capteur solaire plan est influencé par différents paramètres, on distingue :

II.8.1 Les paramètres externes :

1- Les paramètres d'ensoleillement :

- Eclairage énergétique dû au rayonnement global.
- Position du soleil et durée d'insolation.
- L'heure de la journée et la saison.
- La position géographique du lieu considéré (latitude).

2- Température ambiante.

3- Vitesse du vent.

II.8.2 : Les paramètres internes :

1- Les paramètres de position :

- **L'orientation** : dont dépend essentiellement le fonctionnement du capteur pendant la journée. Généralement on opte pour :
 - Une orientation Est pendant la matinée.
 - Une orientation Ouest pendant l'après - midi.
 - Une orientation Sud si le capteur doit fonctionner toute la journée.
- **L'inclinaison** : généralement elle est liée à la période de fonctionnement durant l'année.
 - Pour un fonctionnement estival, le capteur doit être incliné d'un angle :
 $B = \phi - 10^\circ$
 - ϕ : altitude du lieu.
 - Pour un fonctionnement hivernal, l'inclinaison est :
 $B = \phi + 20^\circ$.
 - Pour un fonctionnement annuel, on choisit :
 $B = \phi + 10^\circ$.

2- Les paramètres de construction parmi lesquels nous citons :

- **L'absorbeur** :
 - Les propriétés thermo physiques et optiques.

Chapitre II : Généralités sur les capteurs solaires

- Dimensions des tubes, de la plaque absorbante et espacement entre les tubes.
- Introduction des rugosités artificielles de la surface sélective.
- Epaisseur de la lame d'air entre l'absorbeur et la vitre.
- Géométrie des canaux (carrée, rectangulaire, hexagonale, circulaire).
- Configuration du réseau de circulation du fluide caloporteur.
- Température de l'absorbeur.
- La différence de température entre l'absorbeur et l'air ambiant.
- **La surface sélective :**
 - Propriétés optiques.
- **Couverture transparente :**
 - Propriétés optiques et thermo physiques.
 - Epaisseur.
 - Le nombre de vitrage et la forme.
- **L'isolant :**
 - Propriétés thermo physiques et optiques.
 - Epaisseur.

II.9 : Conclusion :

Ce chapitre nous informe sur les généralités des capteurs thermiques à air et il donne des estimations de leur puissance. Ce qui permet de faire des approximations de leurs flux absorbés et leurs pertes de chaleur. Tout ça permet d'améliorer le rendement du capteur et de prendre des mesures plus exactes pour aboutir à des meilleures performances en minimisant les pertes thermiques.

III.1 : Introduction :

Ce chapitre contient les différentes étapes de la réalisation de notre projet, qui consiste à mettre en œuvre un modèle de capteur écologique dont on se sert des matériaux omniprésents, récupérés, façonnés et assemblés pour donner naissance à un capteur, dont ces objectifs diffèrent essentiellement de sa température obtenue lors des essais réalisés.

Cette réalisation présente un pas vers une énergie proprement issue de notre environnement, en faisant simplement combiner et marier des éléments qui conviennent à notre objectif.

III.2 : Les buts recherchés par cette réalisation :

- Subvenir aux besoins quotidiens de l'énergie qu'on puise (la chaleur).
- Mettre un frein ou tout au plus réduire la consommation de l'énergie fossile.
- Réduire la pollution atmosphérique par l'utilisation d'une énergie propre.
- Sensibiliser le citoyen pour l'amener à suivre cet exemple.
- Participer au respect de l'environnement en réduisant les déchets jetés dans la nature.

➤ Généralement on consacre ces réalisations pour le séchage qu'on utilise dans des différents domaines comme :

- Séchage des produits agroalimentaires.
- Séchage des produits pharmaceutiques.

III.3 : Avantages et inconvénients du capteur :

III.3.1 : Avantages de fabrication :

- L'énergie solaire est inépuisable et non polluante.
- Une installation facile à réaliser.
- Matériaux de fabrication disponibles en abondance.
- Faible coût de réalisation.
- L'autonomie en énergie (chaleur, électricité).

III.3.2 : Inconvénients :

- La puissance obtenue diffère d'un moment à l'autre selon :
 - Le positionnement de la terre (journée/nuit, saisons).
 - Les matériaux utilisés.
- La production d'énergie solaire n'est possible que lorsqu'il y a du soleil.

III.4 : Les différentes étapes de réalisation :

Ce capteur contient les éléments suivants :

- Absorbeur (des conduits d'air réalisés par l'assemblage de cannetes).

- Deux collecteurs d'air.
- Un boîtier(en bois).
- Isolation (polystyrène).
- Une couverture transparente (un double vitrage).

III.4.1 : Absorbeur :

Notre absorbeur diffère des autres absorbeurs classiques, qui présente une plaque plane fine généralement en aluminium ou en cuivre qui transmet la chaleur absorbée aux tubes caloporteurs.

Notre absorbeur représente neuf tubes de neuf cannetes chacun.

Après avoir récupéré et nettoyé les cannetes, on procède comme suit :

III.4.1.1 Perçage des cannetes :

Après avoir nettoyé correctement les cannetes (intérieur et extérieur), on les façonne pour donner une forme d'un conduit cylindrique à l'aide de la procédure de perçage, en perçant les deux extrémités de chaque cannete, comme l'illustre la figure suivante :



(1)



(2)

Figure III. 1 : Opération de perçage

III.4.1.2 : Assemblage :

Après avoir percé les **(81)** cannetes, on réalise **(09)** tubes de **(09)** cannetes chacun, en les assemblant l'une à l'autre à l'aide d'un mastic de silicone qui a comme propriétés de résister aux chocs, vibrations externes, variation de température, et il adhère facilement sur du verre, aluminium, bois...etc.

La figure suivante nous donne un aperçu de l'assemblage de cannettes non encore peintes :



Figure III.2 : Assemblage des cannettes

III.4.1.3 Traitement de surface des tubes :

A fin d'obtenir une surface plus absorbante, on les peint avec une peinture noire mate, vu que la couleur noire absorbe le maximum du rayonnement solaire, comme nous montre la figure suivante :



Figure III.3 : Tube peint

Le tableau suivant résume les caractéristiques de la canalisation :

Matériau	Dimension		Caractéristiques physiques		
	Longueur	Diamètre intérieur	Conductivité thermique	Absorptivité (peinture noire)	Emissivité (peinture noire)
(81) cannettes en aluminium	0.116 (m)	0.046 (m)	204 (W/m.K)	0.97	0.88

Tableau III.1 : Caractéristiques de la canalisation

III.4.2 : Collecteurs :

Les collecteurs utilisés sont en bois, couverts des feuilles d'aluminium, pour protéger le bois des facteurs extérieurs (humidité, écart de température...etc) et pour permettre une excellente étanchéité.

La méthode de fabrication consiste à couper des planches en bois en faisant des rectangles assemblés à l'aide d'une colle spéciale pour bois et des visse. Là où les tubes sont encastrés, on les perce à l'aide d'une perceuse.

La figure suivante nous montre les collecteurs :



(1) Collecteur sans aluminium



(2) Collecteur avec aluminium

Figure III. 4 : Réalisation des collecteurs

A l'intérieur des collecteurs, on a placé des chicane pour pouvoir orienter l'air. Afin de pouvoir réaliser les essais envisagés pour ces capteurs et opter pour le circuit de l'air le mieux adapté. Celles-ci sont faites de manière mobile à l'aide de joints en caoutchouc. Elles sont réalisées en bois (contre plaqué dont l'épaisseur est de 0.5 cm et une surface de $8.5 \times 7 \text{ cm}^2$) emballées dans une feuille d'aluminium pour la protection du bois et une réflexion du flux radiatif sur les parois, comme la montre la figure ci-dessous :



Figure III.5 : Chicanes

Le tableau suivant montre les caractéristiques techniques du collecteur :

Matériau	Dimension				Capacité
	Longueur	épaisseur	Surface Base (sup/inf)	Surface latérale	
(02) collecteurs en bois (entourés d'aluminium)	0.66 (m)	0.01 (m)	0.09 × 0.66 = 0.0549 (m ²)	0.09 × 0.66 = 0.0549 (m ²)	0.0549 × 0.09 = 0.054 (m ³)

Tableau III.2 Caractéristiques des collecteurs

III.4.3 : Boitier :

Le boitier(en bois) est l'enceinte des éléments du capteur. Il enveloppe l'isolant ainsi que les tubes et les collecteurs. Sur sa partie supérieure, se fixe une couverture transparente ; son rôle principal est de préserver l'intégralité des éléments et de les accorder pour former un seul élément et faciliter ainsi sa manipulation (déplacement, orientation...etc). Le boitier est porté sur des pieds en acier pour pouvoir faciliter sa mobilité et son orientation (inclinaison) au soleil.



Figure III.6 : Le boitier

Le tableau suivant montre les caractéristiques techniques du boitier :

Matériau	Dimension			
	Langueur	largeur	Epaisseur	Hauteur
Boitier en bois	1.36 (m)	0.82 (m)	0.02 (m)	0.22 (m)

Tableau III.4 : Caractéristiques du boitier

III.4.4 : Isolation :

L'isolation joue un rôle très important qui consiste en la réduction des fuites thermiques ; on a utilisé le polystyrène (épaisseur=5cm) protégé d'une feuille d'aluminium pour réfléchir les rayonnements qui traversent les espaces entre les tubes et sur les côtés des canalisations, comme le montre la figure suivante :



Figure III.7 : Isolation thermique

Le tableau suivant montre les caractéristiques techniques de l'isolant :

Matériau	Epaisseur	Conductivité
Polystyrène	0.05 (m)	0.04 (W/m.K)

Tableau III.5 : Caractéristiques de l'isolation

III.4.5 : Couverture transparente :

La couverture transparente permet le passage d'une grande partie du rayonnement solaire (de **80%** a **95%** selon le verre utilisé) et elle est opaque aux infrarouges émis par la surface absorbante (canettes) ; ce qui crée l'effet de serre.

Dans notre cas, on a utilisé un verre ordinaire de 4 mm d'épaisseur en double vitrage avec une lame d'air de 2 mm.

Le double vitrage est porté sur un cadre en bois mobile pour faciliter l'accès aux chicanes à l'intérieur des collecteurs.



Figure III.8 Couverture transparente

Le tableau suivant montre les caractéristiques techniques de la couverture transparente :

Matériau	Dimension			Emissivité
	Longueur	Largeur	Épaisseur	
Verre ordinaire (double vitrage)	1.36 (m)	0.82 (m)	4 (mm)	0.83

Tableau III.6 : Caractéristiques de la couverture transparente

Une fois que toutes les étapes sont franchies, on place un extracteur d'air pour faire circuler l'air chaud de l'intérieur du capteur vers l'extérieur. On a opté pour un model de **15 W**, vu que sa consommation en électricité reste faible et son emplacement est facile à réaliser.



Figure III.9 : extracteur

III.5 : Estimation du coût du capteur réalisé :

matériau	Coût par unité (DA)	Unité	Coût total
polystyrène	500.00	02 plaques	1000.00
Mastic de silicone	500.00	01 tube	500.00
Mastic pour bois	60.00	01 boite	60.00
Papier aluminium	100.00	02 rouleaux	200.00
Aluminium coulant	100.00	04 rouleaux	400.00
bois	1000(1m ²)	02 plaques	2000.00
Tubes de peinture	200.00	04 tubes	800.00
Montant total			5000.00

III.6 : Conclusion :

L'ensemble de ces opérations nous donne un capteur thermique à air parfaitement prêt à l'utilisation. En respectant les différentes contraintes imposées (taille, poids fragilité ...) lors de la réalisation.



Figure III.10 : Montage complet du capteur

IV.1 : Introduction :

Ce chapitre a pour but de tester la performance du capteur réalisé, afin de déduire le domaine d'utilisation selon les températures obtenues.

Et pour cela, on a utilisé des sondes (thermocouple type K) reliées directement à un ordinateur équipé d'un logiciel qui donne les résultats instantanément après les avoir prises.

Nb : Avant d'effectuer les mesures, on a laissé le capteur exposé au soleil (dans tous les tests) pour augmenter sa température dans les différents parties ; (intérieure des canettes, sortie du collecteur...etc.). C'est ce explique l'élévation de température à l'intérieur des canettes et à la sortie du collecteur à l'instant $t=0$ (seconde).

Pour avoir de l'air chaud à la sortie du collecteur, on a **02** façons de faire :

➤ **Par thermosiphon :**

C'est un phénomène physique qui engendre le mouvement du fluide (dans notre cas c'est l'air). La variation de température du fluide provoque une variation de sa masse volumique ; comme le montre les équations suivantes :

$$\rho = \frac{m}{v} \tag{IV-1}$$

$$P.V = m.r.T \tag{IV-2}$$

(IV-2) on obtient :

$$V = \frac{m.r.T}{P} \tag{IV-3}$$

On sait que : $\frac{m.r}{p} = \textit{constante}$

Donc le volume dépend exclusivement de la température.

Si l'élévation de la température est la cause de l'augmentation de volume (des atomes), la masse volumique diminue en conséquence, l'air devient alors plus léger. Ce qui engendre un mouvement ascendant dans le collecteur. Ce processus se répète et crée un mouvement d'air dans le panneau.

➤ On force l'air à sortir à l'aide d'un extracteur qu'on place à la sortie du collecteur pour accélérer le mouvement d'air.

IV.2 les tests réalisés :

IV.2.1 Le 1^{er} test (le 04/07/2016) :

Temps	1-Température extérieure	5-Température sortie capteur	6-Au centre du capteur (intérieur des canettes)
Secondes	°C	°C	°C
0	47.32	79.05	91.27
15	47.79	79.26	91.35
30	47.47	78.71	90.27
45	47.51	78.83	90.6
60	46.24	79.04	90.99
75	45.96	79.08	90.8
90	46.07	79.01	90.97
105	45.57	78.66	90.96
120	46.07	78.48	90.54
135	46.06	78.57	90.76
150	46.19	78.59	90.88
165	45.37	78.6	90.8
180	45.71	78.31	91.68
195	45.57	78.67	91.01
210	46.11	78.48	90.64
225	46.1	78.25	90.41
240	46.42	78.51	90.64
255	45.98	78.55	90.74
270	46.05	78.38	90.43
285	46.07	78.35	90.6
300	45.31	78.37	90.72
315	45.28	78.41	90.94
330	45.44	78.48	91.09
340	45.96	78.26	90.35
350	45.59	78.59	90.79

Tableau IV.1 : Températures mesurées dans le 1^{er} essai

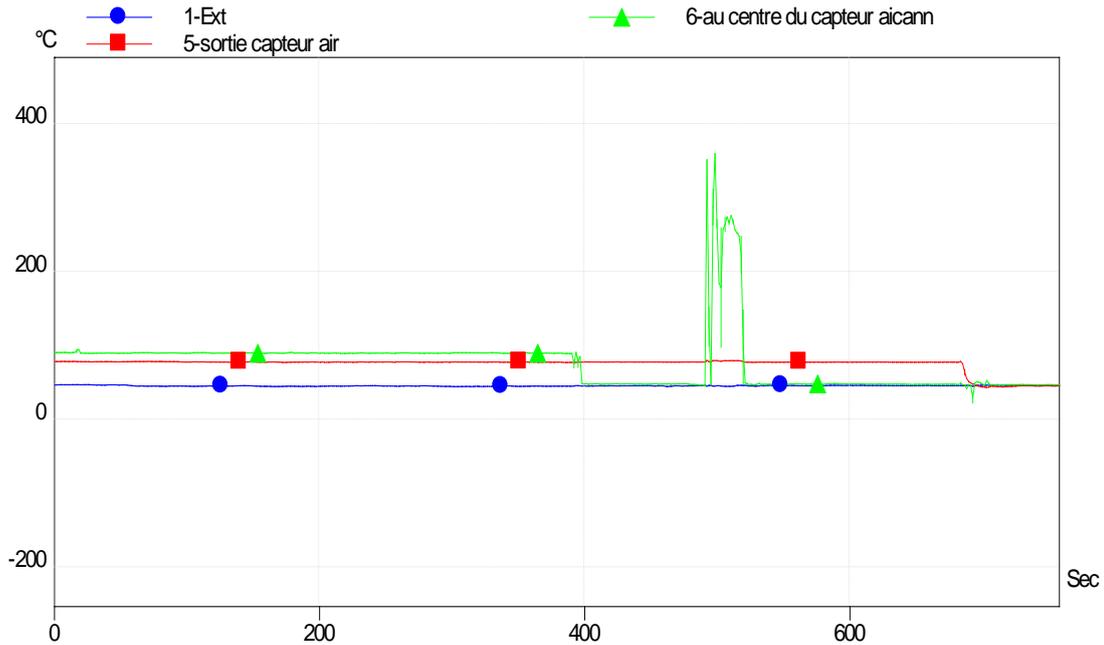


Figure IV.1 : Evolution des températures de l'essai n° 1

Discussion des résultats du 1^{er} test :

On constate que les valeurs des différentes températures restent presque invariables au cours du **400 secondes** premières (**07 minutes**). Vu que la température ambiante est restée constante, on constate sur le graphe une certaine invariabilité de la température de l'air dans le capteur. Ce qui signifie qu'il y a une relation de proportionnalité directe qui relie la température extérieure avec celle du capteur (intérieur des cannettes sortie de l'air dans le collecteur). On a réussi à faire augmenter la température de l'absorbeur (cannettes) jusqu'à **91 °C** et à la sortie du collecteur et un écart de température de l'ordre de **30 °C** avec le milieu ambiant.

Après les **400 secondes** jusqu'à **700 secondes** soit un intervalle de **05 minutes**, on remarque que la température ambiante et à l'extérieur du capteur suivent leurs allures (droites). Pour la température à l'intérieur des cannettes, elle présente des fluctuations causées par l'appareil au moment des mesures (au cours du test, la sonde reliée aux cannettes s'est détachée par le vent et laissée sur place pour ne pas interrompre les autres mesures).

Après **700 secondes**, on remarque que toutes les droites se confondent vu qu'on a retiré toutes les sondes, donc les températures sont celles du milieu ambiant.

Les courbes obtenues dans cet essai montrent que la température du collecteur et celle à l'intérieur des cannettes baissent, tandis que la température ambiante baisse ; cela est dû à la durée de l'exposition du capteur. En effet, ce test est réalisé directement après avoir installé les sondes, et on a retiré les sondes au bout de **350 secondes (5 minutes)**, ce qui n'a pas laissé le temps nécessaire pour lancer suffisamment le phénomène de l'effet de serre.

IV.2.2 : Le 2ème essai (12/07/2016) :

Pour comparer les résultats obtenus dans la même journée on réalise deux tests le 1^{er} à 12 h 00, le 2^{ème} à 14 h 30, ça nous permet de savoir l'importance de l'inclinaison, pour avoir un meilleur rendement.

IV.2.2.A Test réalisé à (12 h 00) :

Temps	Sortie capteur à air	Canal intérieur (cannettes)
Secondes	°C	°C
0	46.04	87.23
200	45.41	85.24
400	45.41	85.89
600	45.77	85.7
808	45.84	86.53
1000	46.08	86.78
1200	45.08	88.62
1400	44.6	88.89
1600	44.79	90.15
1800	43.87	90.53
2000	44.08	90.15
2200	43.94	89.92
2400	43.87	89.1
2600	43.79	89.69
2800	43.33	87.17
3000	43.46	87.4
3200	44.01	87.35
3400	43.54	87.38
3600	43.91	86.88
3800	43.96	86.62
4000	43.69	88.03

Tableau IV.2 : Les températures mesurées du 2^{ème} essai à 12 h 00

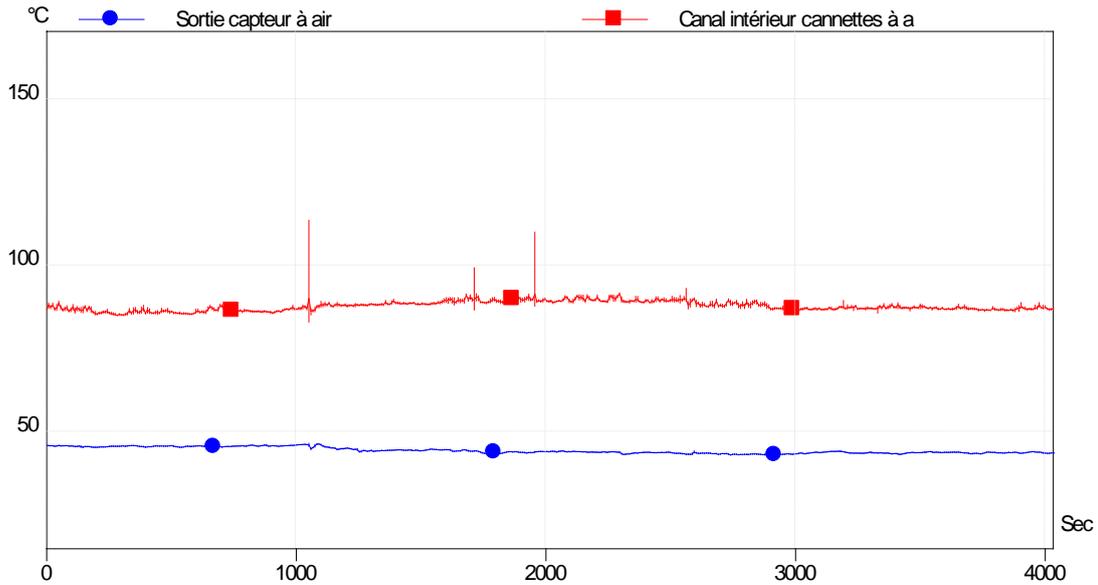


Figure IV.2 : Evolution des températures du 2^{ème} essai à 12 h 00

Discussion des résultats du 2^{ème} essai à 12h :00 :

Les valeurs données par le tableau et la courbe, montrent que la variation de la température dans le collecteur et à l'intérieur reste faible elle suit la variation de température ambiante. On a obtenu des températures assez élevées à l'intérieur des cannettes (absorbeur) et à la sortie du collecteur.

La température ambiante dans cet essai n'est pas mentionnée car on a réalisé les tests simultanément avec d'autres étudiants. Mais elle est de **40 °C**.

IV.2.2.B : Test réalisé à (14h : 20) :

Temps	1-Température Extérieure	5- T ° sortie capteur	6- T° au centre du capteur
Secondes	°C	°C	°C
0	42.02	66.78	77.75
250	44.4	65.99	78.79
500	46.46	71.55	84.49
750	46.13	71.46	84.98
1000	45.77	71.61	85.46
1250	46.29	70.36	84.5
1500	41.06	63.08	76.27
1750	38.13	63.25	83.67
2000	40.95	70.94	87.07
2250	39.16	69.58	83.92
2500	38.24	68.09	82.69

Tableau IV.3 : les températures mesurées du 2^{ème} essai à 14 h 20

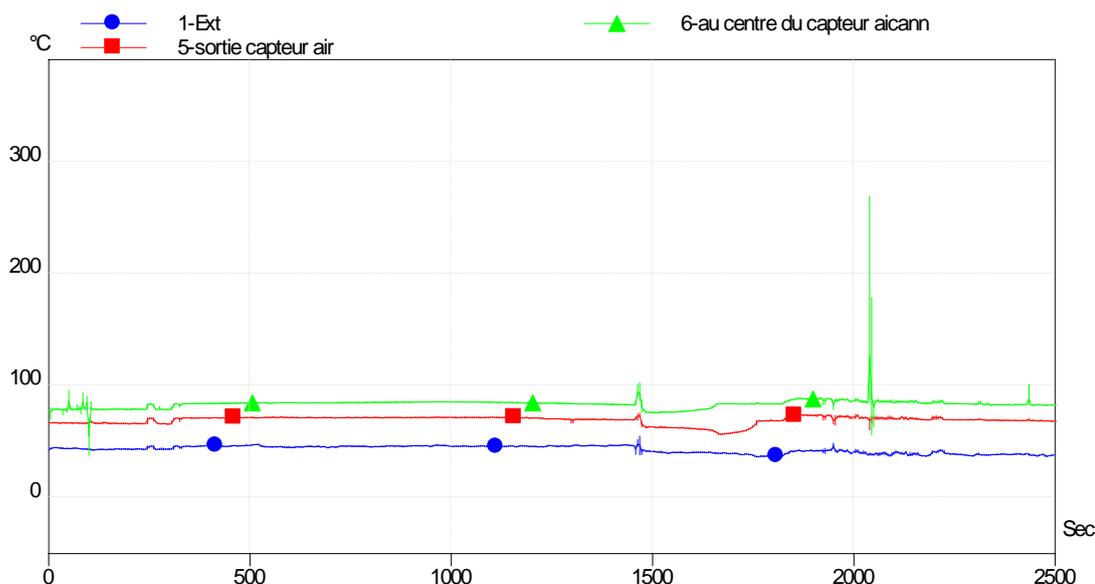


Figure IV.3 : l'évolution des températures lors du 2^{ème} essai à 14 h 20

Discussion des résultats du 2^{ème} test (12/07/2016) à 14 h 20 :

Les allures des courbes des températures de l'absorbeur (intérieur des canettes) et à la sortie du collecteur suivent l'allure de la température ambiante. On remarque toutefois qu'au début de l'essai pour une température ambiante de **44 °C**, on obtient des températures assez élevées dans l'absorbeur et à la sortie du collecteur, au bout de **1750 secondes**, soit **30 minutes**, pour une température ambiante inférieure à celle prise auparavant, soit **40 °C**, on obtient des températures plus élevées comparées à celles obtenues pour une température de **44 °C**.

Déduction :

Les premières mesures sont prises au début de l'exposition du capteur au soleil, les températures obtenues augmentent au cours du temps (pourvu que la température ambiante reste invariable ou augmente). Après une certaine durée, même si la température ambiante baisse de quelques degrés, on remarque que les températures de l'absorbeur et celle à la sortie du collecteur augmentent ; cela est dû à **l'effet de serre** causé par le double vitrage.

Comme nous le savons tous, tout corps dépassant le une température de **0 K** (soit **273.15 °C**) émet des radiations. Celles-ci comptent les **IR** pour lesquels le vitrage est opaque et ne laisse passer qu'une très faible quantité de ce rayonnement. Le reste est piégé entre la partie inférieure du vitrage et la partie supérieure de l'absorbeur ; cela augmente la température de l'air confiné et permet une élévation des températures.

Après avoir réalisé ces tests on calcul le rendement du capteur :

$$\eta = \frac{\rho \cdot C_p \cdot Q \cdot (T_s - T_e)}{IG \cdot A_c} = \frac{\text{énergie utile absorbée par l'air}}{\text{énergie totale reçue par la surface du capteur}}$$

ρ (masse volumique de l'air)= 1.293 (kg/m³).

C_p (chaleur massique d'air)= 1005 (J/kg.K).

Q (débit volumique)=1,44 (m³ /min)=0.024(m³/s).

T_s (température de sortie d'air)=79 (C) .

T_e (température d'entrée d'air)=48 (C).

I_g (irradiations globales reçues par la surface du capteur)=1362.4 (W/ m²) .

A_c (surface du capteur)=1,36 .0, 82 =1,1152 (m²).

$$\eta=0,636=63.6\%$$

IV.3 : Conclusion :

Les tests réalisés montrent que les températures du capteur sont suffisamment élevées pour les exploiter dans notre vie quotidienne. Afin de subvenir aux besoins énergétiques individuels. Etant donné que ces capteurs sont faciles à fabriquer et à les utiliser dans les le chauffage de locaux, cela permet de minimiser les coûts élevés de l'énergie électrique.

Conclusion générale :

A partir des déchets et des débris jetés en plein nature (cannettes, verre, bois...) qui ne font que causer une gêne et polluer notre environnement, nous avons réussi à les récupérer et à les assembler pour donner forme à un capteur thermique qui répond parfaitement à nos besoins en énergie thermique (chaleur) pour usages multiples.

Le panneau ainsi fabriqué est tout de même victime de plusieurs insuffisances (la qualité et l'état des matériaux utilisés, les dimensions voulues ...etc.) mais a bien répondu à nos espérances. Donc avec des matériaux plus performants et plus aptes, nous pouvons augmenter et contrôler la température des panneaux et varier ainsi le domaine d'utilisation.

L'industrialisation de ces panneaux signifie un grand pas vers l'utilisation d'une énergie propre et facile d'obtention, vu que ces panneaux sont faciles à installer dans les différents endroits des locaux et peuvent être sujets à des utilisations dans l'industrie.

Les coûts dérisoires de ces panneaux, comparativement à ceux utilisés pour l'énergie électrique, nous renforcent dans le choix de ce type de capteur de production de chaleur à moindre coût.

Références bibliographiques :

- [1] http://docinsa.insa-lyon.fr/these/2004/chain/05_chapitre_1.pdf.
- [2] **Ademe**, Eau chaude solaire collective : bonnes pratiques, novembre 2005, 38 p.
- [3] <http://ines.solaire.free.fr/solpv/page1.html>.
- [4] **J. Bernard**. Energie solaire Calculs et optimisation. Edition ellipses, 2004.
- [5] **S. Bonned et A. Alaphilippe**, Conversion thermodynamique de l'énergie solaire dans des installations de faible ou de moyenne puissance. Energ. Ren : 11^{èmes} journées Internationales de la thermique. pp.73-80. 2003.
- [06] <http://www.ecohabitation.com/guide/fiches/panneau-chauffe-air-solaire-prechauffer-air-maison>.
- [07] <http://books.openedition.org/pucl/626#tocfrom2n4>.
- [08] <http://portail.cder.dz/spip.php?article3474>.
- [09] **Lopez, J.R., Anand, N.K., Flecher, L.S.**, (1995) "A numerical analysis of laminar convective heat transfer in a three-dimensional channel with baffles" in: Proceedings of the Third U.S. National Congress on Computational Mechanics, Dallas, TX, vol. 1, pp. 406–416.
- [10] **Bemer, C., Durst, F., Mc Eligot, DM.** (1984) "Numerical study of fluid flow and heat transfer in a parallel plate channel with baffles", Journal of Heat Transfer, pp. 106-743.
- [11] <http://www.energiesdouce.com/content/16-conseils-faq-panneaux-capteurs-solaires-thermiques-a-eau>.
- [12] **Berner, C., Durst, F., McEligot, D.M.**, (1984) "Flow around baffles", Trans. ASME J. Heat Transfer 106, pp. 743–749.