

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

UNIVERSITE AHMED DRAIA

-ADRAR-



جامعة أحمد دراية- أدرار

Année / 2021

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département des Sciences de la Matière

Mémoire de fin d'étude, en vue de l'obtention du diplôme de Master

en

Physique

Option : Physique Energétique et Energies Renouvelables

Thème

*Etude théorique d'un capteur solaire
plan à air*

Présenté Par :

Mr. Zineddine Mohammed Salah

et

Mr. Bouchena Haroun

Devant le jury composé de :

Dr. Manaa Saadeddine

Rapporteur

MCA

Université Ahmed Draia -Adrar

Mme. Benabdelkrim Bouchra

Examineur

Grade

Université Ahmed Draia -Adrar

Année Universitaire 2020/2021

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République algérienne populaire et démocratique

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

UNIVERSITE AHMED DRAYA - ADRAR

BIBLIOTHÈQUE CENTRALE

Service de recherche bibliographique

N°.....B.C/S.R.B//U.A/2021



جامعة احمد دراية - ادرار

المكتبة المركزية

مصلحة البحث البيولوجرافي

الرقم.....م/م.ب.ب/ب.ب.ب/أ.ج/2021

شهادة الترخيص بالإيداع

انا الأستاذ(ة): مانع سعدالدين

المشرف على مذكرة الماستر.

الموسومة ب: ÉTUDE THÉORIQUE D'UN CAPTEUR SOLAIRE PLAN À AIR

من إنجاز الطالب(ة): ZINEDDINE MOHAMMED SALAH

و الطالب(ة): BOUCHENA HAROUN

كلية: FACULTÉ DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE

القسم: DÉPARTEMENT DES SCIENCES DE LA MATIÈRE

التخصص: PHYSIQUE ÉNERGÉTIQUE ET ÉNERGIE RENOUEVABLE

تاريخ تقييم / مناقشة: 2021/06/24

أشهد ان الطلبة قد قاموا بالتعديلات والتصحيحات المطلوبة من طرف لجنة التقييم، وان المطابقة بين النسخة الورقية والإلكترونية استوفت جميع شروطها.
ويامكانهم إيداع النسخ الورقية (02) والالكترونية (PDF).

- امضاء المشرف


د. مانع سعدالدين

ادرار في:

مساعد رئيس القسم:-


مساعد رئيس قسم علوم المادة مكلف بالتدريس والتعليم في التدرج



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Ramstarab.com

Dédicace :

Je dédie ce mémoire:

- ❖ *A ma chère mère et mon père qui sont la lumière de ma vie*
- ❖ *A mes chers frères*
- ❖ *À toute ma famille et ma famille élargie, pour tous les efforts et Les sacrifices qu'ils font pour moi.*
- ❖ *Et mon superviseur, Dr. Mana Saadeddine*
- ❖ *A tous mes amis sans exception.*

MOHAMMED SALAH ZINEDDINE

Dédicace :

Il me fait grand plaisir de présenter ce travail avec le plus grand respect et appréciation à :

- ❖ *Mes chers parents, pour leur soutien tout au long de mon cheminement scolaire et pour leurs efforts et sacrifices pour me voir réussir.*
- ❖ *Mes frères et mes sœurs et tout la famille pour leur soutien financier et moral tout au l'année.*
- ❖ *Mes amis qui m'ont soutenu tout au long de mes études.*
- ❖ *tous mes amis et mes collègues de classe la promotion précédent et actuel car j'en ai beaucoup bénéficié pendant l'étude.*
- ❖ *Mon binôme MOHAMMED SALAH ZINEDDINE*
- ❖ *Et mon superviseur, Dr. Manaa Saadeddine*

Bouchena Haroun

REMERCIEMENTS

- ❖ Premièrement, nous remercions Dieu de nous avoir accordé le succès dans l'accomplissement de cet humble travail.
- ❖ Tous nos remerciements et notre gratitude à notre estimé professeur, Manaa Saadeddine, pour ces conseils et ses instructions, corrigeant nos erreurs, et pour son temps précieux.
- ❖ Mes collègues qui m'ont donné quelques conseils pour accomplir ce travail.

Sommaire

Sommaire :

Nomenclature

Liste des figures III

Liste des tableaux

Introduction générale1

Chapitre I : généralité sur le gisement solaire

I.1.Introduction.....3

I.2.Le soleil.....3

I.2.1.La constante solaire.....4

I.3. Caractéristiques de la terre.....4

I.3.1.L'atmosphère terrestre.....4

I.3.2 Mouvement de la terre.....5

I.4. Rayonnement solaire.....6

a- Rayonnement extraterrestre.....6

b- Irradiation solaire.....7

c- Durée d'insolation.....7

d- Composantes du rayonnement solaire.....8

I.5.Différents types de rayonnement.....8

I.5.1.Le rayonnement direct.....8

I.5.2.Le rayonnement diffus.....9

I.5.3.L'albédo.....9

I.5.4.Le rayonnement global.....10

Sommaire

I.6.Les coordonnées géographiques.....	10
-La latitude θ	10
-La longitude φ	10
-L'altitude.....	10
I.7.Coordonnées horaires.....	11
-Déclinaison du soleil (δ).....	11
-Angle horaire du soleil.....	11
I.8.Coordonnées horizontales.....	12
-La hauteur du soleil (h).....	12
-Azimut solaire.....	12
I.9.Notions de Temps.....	13
I.9.1.Temps solaire vrai (TSV).....	13
I.9.2.Temps solaire moyen (TSM).....	13
I.9.3.Temps universel (TU).....	13
I.9.4.Temps légal (TL).....	14
I.10. conclusion.....	14
 Chapitre II : généralités sur les capteur solaire	
II.1. Introduction.....	16
II.2. Les panneaux photovoltaïques.....	16
II.3. Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque.....	16
II.4.Les différentes technologies	17
II. 4.1. Les cellules au silicium cristallin.....	17

Sommaire

II.4.2. Les cellules à base de couches minces.....	17
II.4.3. Les cellules à base de photovoltaïque organique.....	17
II.4.4. Les cellules hybrides.....	17
II.5. Dopage des semi-conducteurs (silicium).....	18
II.5.1. Dopage de type n (négatives).....	18
II.5.2. Dopage de type p (positif).....	18
II.6. Les capteurs solaires.....	19
II.7. Description du capteur plan.....	19
II.7.1. Le vitrage (couvercle).....	20
II.7.2. L'absorbeur.....	20
II.7.3. L'isolant.....	21
II.7.4. Le fluide caloporteur.....	22
II.8. Différents types capteurs solaires.....	22
II.8.1. Le capteur à tube sous vide.....	22
II.8.2. Les capteurs solaires à concentrations.....	23
II.8.2.1. Les capteurs à concentration cylindro-paraboliques.....	23
II.8.2.2. Les capteurs à concentration du type dishes.....	23
II.8.2.3. Les centrales à tour.....	23
II.8.3. Les capteurs solaires plans.....	24
II.8.3.1- Le capteur solaire à eau.....	24
II.8.3.2- Le capteur solaire à air.....	24
II.9. Les paramètres influent sur le fonctionnement d'un capteur solaire.....	25
II.9.1. Les paramètres externes.....	25
II.9.2. Les paramètres internes.....	25

Sommaire

a-Paramètres géométriques.....	25
b-Paramètres de fonctionnement.....	26
Chapitre III : étude théorique des CSP à air	
III. Introduction.....	28
III.2. transfert de chaleur par conduction.....	28
III.2.1. Conduction.....	28
III.2.2. Convection.....	29
III.2.2.1- La convection libre ou naturelle.....	29
III.2.2.2- La convection forcée.....	29
III.2.3. Le rayonnement.....	31
III.3. Modélisation de l'insolateur.....	31
III.3. 1. Méthode par tranches (Méthode pas à pas).....	31
III.3.2- Méthode globale.....	34
III.4- Modélisation des coefficients d'échanges thermiques Capteur solaire à air plan simple	34
III.4.1. Echanges thermiques au niveau de la vitre.....	36
III.4.2. Echanges thermique au niveau de l'absorbeur.....	37
III.5. Perte globale d'énergie.....	38
III.5.1. Coefficient de pertes thermiques vers l'avant du capteur.....	38
III.5.2. Coefficient de pertes thermiques vers l'arrière du capteur.....	38
III.5.3. Coefficient de pertes thermiques latérales.....	39
III.6. Rendement instantané du capteur solaire.....	39
Conclusion générale.....	40
Bibliothèque références	
résumé	

Nomenclature et Liste des tableaux

Nomenclature :

Chapitre I		
symbole	Désignation	Unité
I_0	constante solaire	W/m^2
I_c	La valeur du rayonnement solaire	
N_j	le numéro du jour dans le mois.	
F	flux incident reçu sur une surface face aux rayons solaires	(W/m^2)
T_{tL}	le facteur de trouble de Linke	
P_v	la pression partielle de vapeur d'eau	(Pa)
T	la température de l'air en .	$^{\circ}C$
I_{dir}	Le rayonnement direct	(W/m^2)
CI	le coefficient d'orientation	
D	Le rayonnement solaire diffus sur un plan horizontal	(W/m^2)
I_{dif}	Le rayonnement solaire diffus	(W/m^2)
I_{gl}	Le rayonnement global	(s)
T_{SV}	temps solaire vrai .	
T_{SM}	temps solaire moyenne (s)	(s)
E_t	l'équation du temps, qui corrige le T.S.V par rapport au T.S.M.	(s)
T_U	Temps universel	(s)
T_L	Temps légal	(s)
ΔH	le décalage horaire entre le méridien de Greenwich et l'état considéré.	(1 heure pour l'Algérie)

Chapitre III

Q_{cd} :	Le flux de chaleur par conduction .	(W)
A	Aire de la section de passage du flux de chaleur .	(m^2) .
λ	La conductivité thermique.	$(W/m^2 \cdot ^{\circ}C)$
x	Variable d'espace dans la direction du flux .	(m)
Q_{cv}	Le flux de chaleur par convection .	(W)
h_c	Le coefficient de transmission thermique par convection .	$(W/ m^2 \cdot ^{\circ}C)$
S	La surface de transmission de chaleur .	(m^2)
T_p	La température de surface de solide .	$(^{\circ}C)$
T_{∞}	La température du fluide avant son contact avec le solide .	$(^{\circ}C)$
U_m	vitesse moyenne du fluide	
ρ	masse volumique du fluide	g/m^3
C_p	Chaleur spécifique du fluide	
μ	viscosité thermique du fluide	

Nomenclature et Liste des tableaux

λ	conductivité thermique du fluide	
D	dimension caractéristique de la surface d'échange	
Re	le nombre de Reynolds	
Pr	le nombre de Prandtl	
Nu	le nombre de Nusselt	
Q_r	densité de flux de chaleur émis par le corps.	
ε	émissivité thermique du matériau.	
ζ	constante de Stefan-Boltzmann évaluée à $5,6.10^{-8}$	$(W/m^{-2}k^{-4})$
T_s	Température de la surface.	
T_{es}	Température du milieu environnant la surface.	
α_v	coefficient d'absorption de la vitre.	
S_v	Surface de la vitre .	(m ²)
G	Le rayonnement global.	
Q_{cvam}	Le flux de chaleur échangé par convection entre le vitrage et l'air ambiant	
T_{am}	La température ambiante (K).	K
h_{cvam}	coefficient d'échange par convection entre la vitre et l'air ambiant .	(W/ m ² .K)
V	La vitesse du vent .	(m/s)
	La température de ciel .	(K)
T_v	La température de vitre .	(K)
α_r	coefficient d'échange par rayonnement entre la vitre et ciel .	(W/ m ² .K)
T_{ab}	La température de l'absorbeur	(K)
S_{ab}	La surface de l'absorbeur	(m ²)
h_{cabv}	Le coefficient d'échange thermique par convection entre la vitre et l'absorbeur .	(W/m ² °K)
Pr	nombre de Prandtl.	
e	épaisseur de la lame d'air séparant la vitre de la plaque absorbante	(m)
Gr	nombre de Grashof.	
λ_{air}	Conductivité thermique de l'air .	(W/m.K)
β	inclinaison du capteur .	(rad)
Ra	Etant le nombre de Rayleigh	
U_{av}	Le coefficient de pertes thermiques vers l'avant du capteur solaire	

Nomenclature et Liste des tableaux

	à air	
U_{arr}	Ce Coefficient est peu important car le capteur est très bien isolé dans l'arrière	
λ_{isol}	conductivité thermique de l'isolant .	(W/ °K m)
e_{isol}	épaisseur de l'isolant .	(m)
U_{lat}	La valeur de ce coefficient est inférieure à celle du coefficient de pertes arrière	
S_{lat}	surface latérale du capteur .	(m ²)
S_c	surface du capteur .	(m ²)
UL	Le coefficient de pertes thermiques global vers l'extérieur	
Qu	puissance utile récupérée par le fluide caloporteur .	(W)
$\alpha\tau$	sont respectivement coefficient d'absorption de l'absorbeur et transparence de vitrage.	
h	Hauteur de soleil	(m)

Liste de figures :

Chapitre I		
Figure	Titre	page
Figure (1)	Moyenne annuelle de l'irradiation solaire globale reçue sur un plan incliné à la latitude du lieu	3
Figure (2)	répartition spectrale du rayonnement solaire au niveau du sol terrestre	5
Figure (3)	Schématisation du mouvement de la terre autour du soleil	6
Figure (4)	Les composants du rayonnement solaire	8
Figure (5)	Les coordonnées géographiques	10
Figure (6)	Les coordonnées horaires	11
Figure (7)	Coordonnées horizontales .	12
Chapitre II		
Figure (8)	Classification des principales technologies de cellules solaires PV	18
Figure (9)	Capteur solaire thermique.	19
Figure (10)	Composants d'un capteur solaire plan	19
Figure (11)	capteur solaire à tube sous vide .	23
Figure (12)	capteur solaire thermique à eau, vue en coupe. Les conduits d'eau sont ici intégrés dans l'absorbeur.	24
Figure (13)	Capteur solaire plan à air	26

Nomenclature et Liste des tableaux

Chapitre III		
Figure (14)	Représentation schématique des transferts thermique dans l'isolateur	33
Figure (15)	Schéma électrique équivalente simplifiée a une section d'isolateur	33
Figure (16)	Différents échanges thermiques dans un capteur à air .	35
Figure (17)	Schéma électrique des résistances dans un capteur solaire à air	35
Figure (18)	Les différents échanges thermiques dans un capteur plan vitre	36

Liste de tableaux :

Chapitre I		
Tableau	Titre	page
Tableau (1)	La répartition de l'énergie solaire reçue par la terre	7
Chapitre II		
Tableau	Titre	page
Tableau (2)	Propriétés de quelques surfaces transparentes au rayonnement solaire mais Opaques au rayonnement infrarouge.	20
Tableau (3)	Caractéristiques thermo-physiques de matériaux métalliques.	21
Tableau (4)	Propriétés thermiques de quelques matériaux isolants.	22

Introduction générale

Introduction générale :

Après le quasi-épuisement des énergies non renouvelables et fossiles et les dommages qu'elles causent à l'homme et à l'environnement, l'homme est à la recherche d'énergies renouvelables et pures qui offrent de bons rendements, et parmi ces énergies figurent l'éolien, l'hydraulique, le solaire, le nucléaire et d'autres énergies qui dépendent de sources durables.

L'énergie solaire est la plus populaire parmi ces énergies dans le monde car elle dépend d'une source permanente et gratuite et peut être utilisée dans plusieurs domaines .Elle peut être exploitée dans la production d'énergie électrique grâce à des panneaux photovoltaïques, et elle peut être exploitée en énergie thermique pour le chauffage, le refroidissement et le séchage grâce à des capteurs solaire thermiques.

Les capteurs solaires sont des dispositifs qui transformer l'énergie solaire à énergie électrique par des panneaux photovoltaïques comme : les cellules monocristallin, polycristalin, amorphe....etc) , et à énergie solaire thermique par des capteur solaire thermique comme (capteur solaire vitré et non vitré et les capteur solaires plan à air et à eauetc) . Parmi ces capteurs nous avons choisi le capteur solaire plan à air pour faire une étude théorique.

Notre travail ce contient de trois chapitres principales pour faire cette étude , le premier consiste à la description de gisement solaire , quelque définitions , les différents types de rayonnement et les différents modes de temps .

Dans le deuxième chapitre consiste sur des généralités des capteurs solaires et ses différents types des capteur (photovoltaïque et solaire thermique) .

Dans le troisième chapitre nous concentrons sur capteur solaire thermique plan à air en détaille : modes de transfert thermique, les échanges thermique dans le capteur thermique et les pertes thermique.

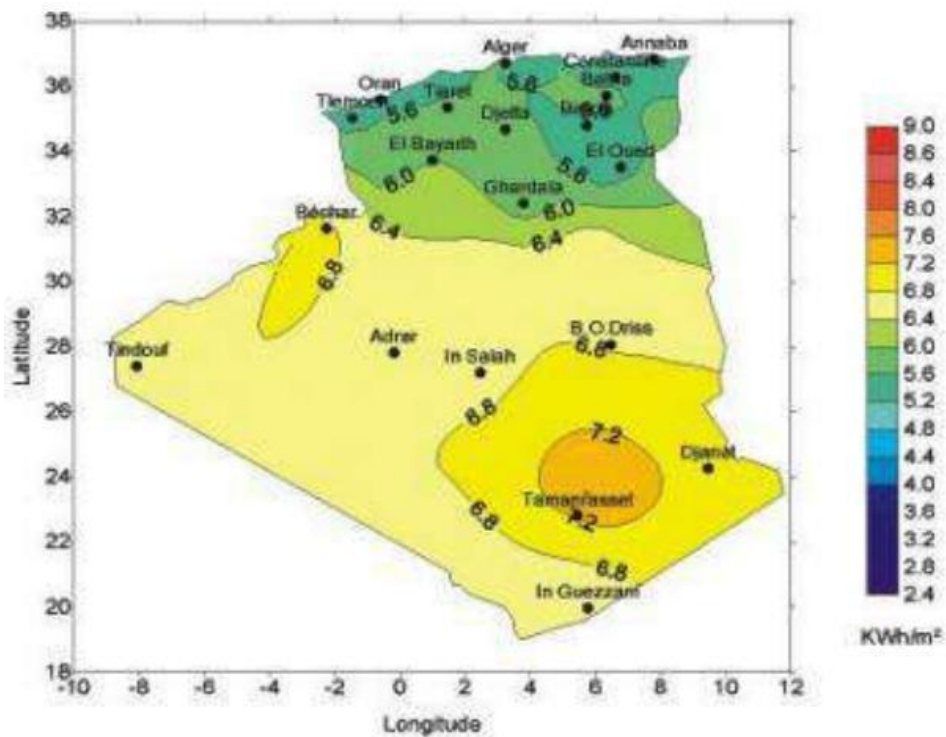
Chapitre I :
**Généralités sur le gisement
solaire**

I.1.Introduction

Le gisement solaire est un ensemble de données décrivant l'évolution du rayonnement solaire disponible au cours d'une période donnée. Il est utilisé pour simuler le fonctionnement d'un système énergétique solaire et faire un dimensionnement le plus exact possible compte tenu de la demande à satisfaire [1] .

I.2.Le soleil :

Le soleil est une étoile naine de forme pseudo-sphérique comparable à une immense boule de gaz très chauds qui se compose de 80% d'hydrogène et de 19% d'hélium, le 1% restant étant un mélange de plus de 100 éléments, soit pratiquement tous les éléments chimiques connus [2] .



I.2.1 La constante solaire :

La constante solaire est la valeur du rayonnement solaire reçu par une surface perpendiculaire au rayonnement solaire placée dans la limite supérieure de l'atmosphère terrestre. Sa valeur est donnée à 1354 w/m² [1] .

La constante solaire donnée par la relation suivant :

$$I_C = I_0 [1 + 0.033 \times \text{Cos}(0.984 \times nj)] \quad (1)$$

nj : est le numéro du jour dans le mois.

I.3. Caractéristiques de la terre

I.3.1.L'atmosphère terrestre

L'atmosphère est constituée de plusieurs couches de caractéristiques différentes, ce sont:

- La troposphère, entre le sol et 15 km d'altitude.
- La stratosphère entre 15 et 80 km d'altitude.
- L'ionosphère entre 80 et 200 km d'altitude.

Les caractéristiques absorbantes de l'atmosphère sont déterminées par la présence de:

- CO₂ (0,03%)
- Vapeur d'eau: en quantité variable caractérisée par l'épaisseur d'eau condensable qui est l'épaisseur d'eau que l'on obtiendrait en condensant toute la vapeur d'eau contenue dans l'atmosphère.
- Ozone O₃ située entre 10 et 30 km d'altitude.
- Aérosols: grains de sable, poussières, fumées...

On trouvera sur la figure (2) la répartition spectrale du rayonnement solaire au niveau du sol terrestre avec indication des gaz partiellement opaques qui filtrent ce rayonnement selon longueur d'onde [4].

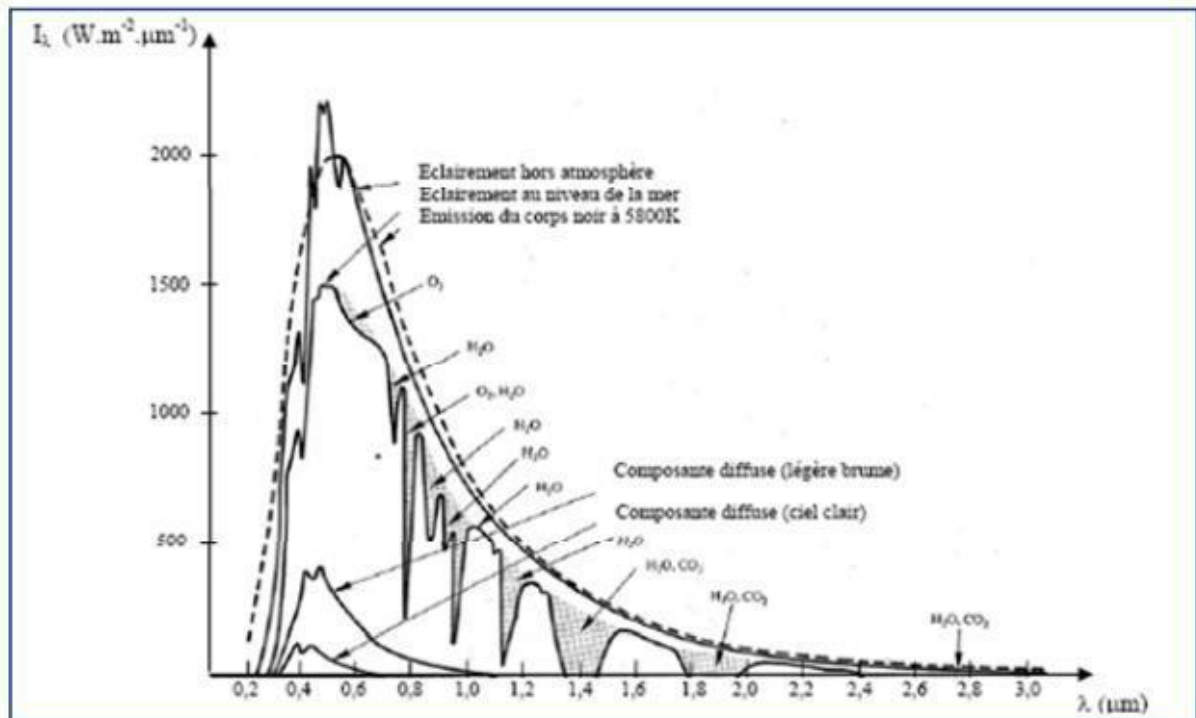


Figure (2) répartition spectrale du rayonnement solaire au niveau du sol terrestre .

Les gaz non transparents de l'atmosphère (CO_2 , O_3 , H_2O) émettent vers la Terre un rayonnement dans les principales bandes suivantes [5] :

- Vers $14.7 \mu\text{m}$ pour le CO_2 .
- Entre 5 et $7 \mu\text{m}$ et entre 14 et $20 \mu\text{m}$ pour la vapeur d'eau.
- Vers $9.6 \mu\text{m}$ pour O_3

I.3.2 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].

Chapitre I : Généralités sur le gisement solaire

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].

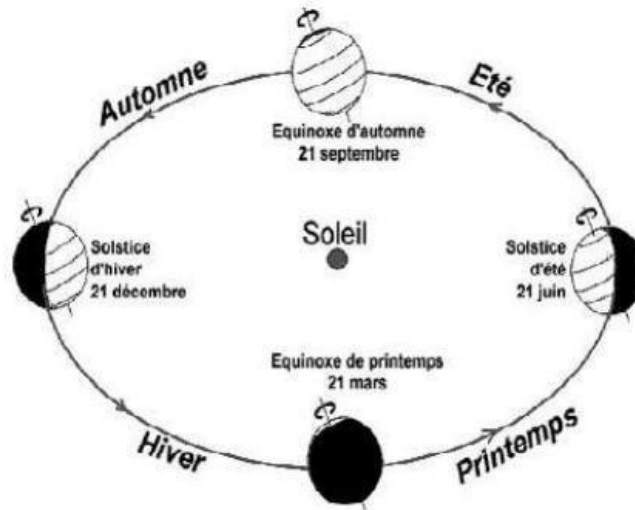


Figure (3) : Schématisation du mouvement de la terre autour du soleil

I.4. Rayonnement solaire :

L'énergie reçue par une surface dépend en outre de la saison, de la latitude de l'orientation de la surface considérée, voir la Figure(4).

a- Rayonnement extraterrestre :

Le rayonnement est de l'énergie transportée par des ondes électromagnétiques. La surface du soleil qui nous envoie le rayonnement est appelée la photosphère et se trouve à une température de 5777°K . L'énorme quantité d'énergie émise par le soleil trouve sa source dans les réactions nucléaires qui y ont lieu. Le rayonnement émis par le soleil se rapproche fort de celui d'un corps noir à la température de 5777°K . Au sommet de l'atmosphère, le spectre solaire s'étend de 200 nm à 3000 nm. L'énergie reçue se répartit comme suit [3] :

Chapitre I : Généralités sur le gisement solaire

Répartition (%)	Longueurs d'onde	Lumière
9	inférieures à 400 nm	Ultraviolet
43	comprises entre 400 nm et 700 nm	Visible
48	comprises entre 700 nm et 3000 nm	Infrarouge proche

Tableau (1) : La répartition de l'énergie solaire reçue par la terre

L'intensité du rayonnement croît à partir des longueurs d'onde proches de 250 nm pour atteindre son maximum vers 500 nm et décroît plus ou moins régulièrement pour les longueurs d'onde plus grandes. 98.8 % de l'énergie du spectre est contenu dans la bande des longueurs d'onde inférieures à 2500 nm. A la distance moyenne de la terre au soleil qui est de $150 \cdot 10^6$ Km, la puissance radiative reçue du soleil sur une surface perpendiculaire aux rayons et située hors de l'atmosphère terrestre est une constante et vaut 1353 W/m^2 . Cette quantité est connue sous le nom de constante solaire C_s [3].

b- Irradiation solaire :

L'irradiation solaire est la magnitude qui mesure l'énergie par unité de surface du rayonnement solaire incident sur une surface placée dans un lieu et une plage de temps bien spécifiés. C'est-à-dire que tout le rayonnement solaire généré par le Soleil n'atteint pas la Terre. Le magnitude qui décrit le rayonnement solaire qui atteint la Terre est l'irradiante. L'éclairement énergétique est exprimé en unités de puissance par surface, généralement en watts par mètre carré. Lorsque nous parlons d'irradiation solaire, nous entendons la quantité d'irradiante reçue dans un temps donné [3].

Il existe plusieurs types mesurés d'irradiant e solaire :

- Irradiation solaire totale
- Irradiation normale directe
- Rayonnement horizontal diffus ou rayonnement ciel diffus
- Irradiation horizontale globale

c- Durée d'insolation :

Le temps pendant lequel le rayonnement solaire direct est supérieur à un seuil de 120 W/m^2 ; elle est exprimée en dixième d'heure [3].

d- Composantes du rayonnement solaire [4]

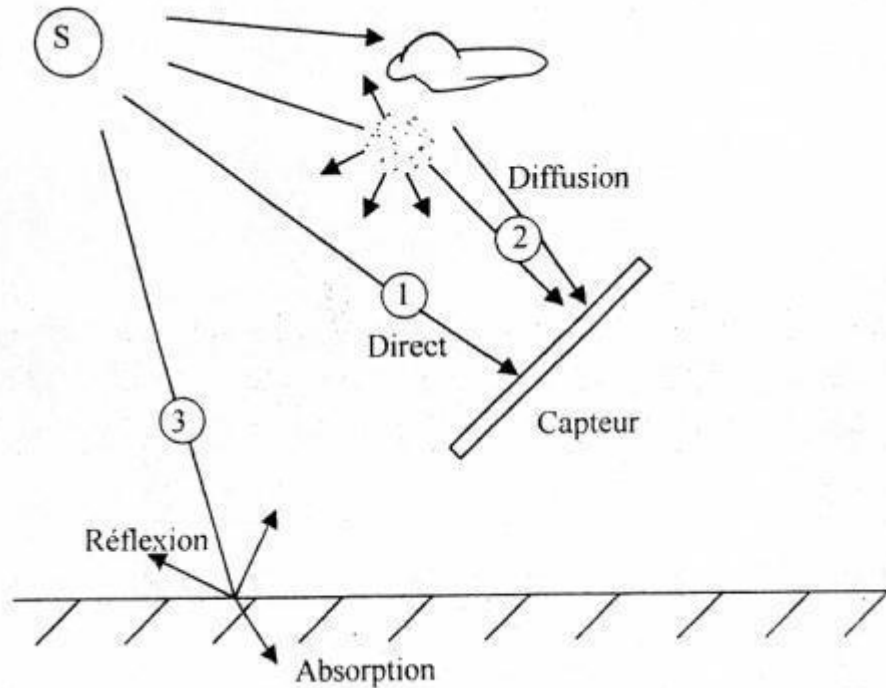


Figure (4) : Les composants du rayonnement solaire

I.5. Différents types de rayonnement :

I.5.1. Le rayonnement direct :

a- Le rayonnement direct sur un plan horizontal :

Le rayonnement solaire direct reçu sur un plan horizontal déterminé par la relation :

$$S = F \sin(h) \quad (2)$$

F : est le flux incident reçu sur une surface face aux rayons solaires et peut être évalué par :

$$F = I_0 e^{(TL/(0.9+9.\sin(h)))} [w/m^2] \quad (3)$$

Avec $I_0 = 1370 \text{ w/m}^2$ et TL le facteur de trouble de Linke défini comme suit :

$$TL = 2.4 + 14.6B + 0.4 (1 + 2B) \ln(PV) \quad (4)$$

Où B : est le coefficient de trouble atmosphérique

Pv : C'est la pression partielle de vapeur d'eau.

Chapitre I : Généralités sur le gisement solaire

$$P_v = 2.165 \left(1.098 + \frac{T}{100} \right)^{8.02} \quad (5)$$

T : est la température de l'air en °C.

b- Rayonnement solaire direct sur un plan incliné :

Le rayonnement direct est celui qui traverse l'atmosphère sans subir de modifications, il est possible de l'estimer par la formule suivante :

$$I_{\text{dir}} = F \times CI \quad (6)$$

Où F : est le flux incident reçu sur une surface face aux rayons solaires.

CI : étant le coefficient d'orientation

$$CI = (\sin(\beta) \cos(h) + \cos(\beta) \sin(h)) \quad (7)$$

I.5.2.Le rayonnement diffus :

a- le rayonnement diffus sur un plan horizontal :

Le rayonnement solaire diffus sur un plan horizontal peut être déterminé par :

$$D = 54.8 \sqrt{\sin(h)} \times (T - 0.5 - \sqrt{\sin(h)}) \quad (8)$$

b- Rayonnement solaire diffus sur un plan incliné :

Le rayonnement solaire diffus D arrive sur le plan récepteur incliné après avoir été diffusé par les particules solides ou liquides en suspension dans l'atmosphère.

$$I_{\text{dif}} = 125 \sin(h)^{0.4} \left(\frac{1 + \cos(\beta)}{2} \right) + 211.86 \sin(h)^{1.22} \left(\frac{1 - \cos(\beta)}{2} \right) \quad (9)$$

I.5.3.L'albédo

C'est la partie réfléchiée par le sol. Il est déterminé à l'aide d'un appareil albédo mètre et dépend de l'environnement du site L'albédo.

I.5.4. Le rayonnement global :

Le rayonnement global sur une surface est la somme du rayonnement direct (I_{dir}) et du rayonnement diffus (I_{dif}), soit :

$$I_{gl} = I_{dir} + I_{dif} \quad (10)$$

I.6. Les coordonnées géographiques : [5]

Ce sont les coordonnées angulaires qui permettent le repérage d'un point sur la terre.

Figure (5)

- La latitude (θ) :

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.

- La longitude (ϕ) :

Représente l'angle entre le plan méridien passant par ce lieu et le plan méridien origine (Green winch).

- L'altitude (Z) :

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

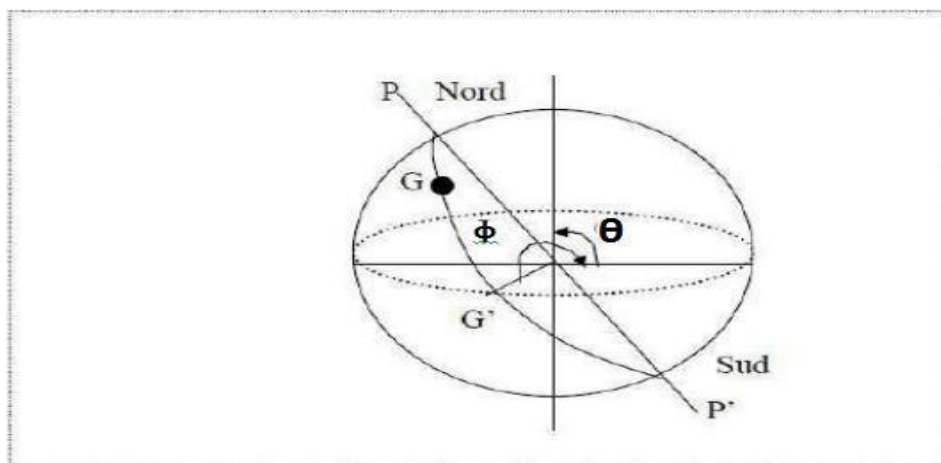


Figure (5) : Les coordonnées géographiques

I.7.Coordonnées horaires [5] :

I.7.1. Déclinaison du soleil (δ) :

C'est l'angle fait par le plan de l'équateur avec celui de l'écliptique. Elle varie de (+23°27' à -23°27') et détermine l'inégalité des durées des jours.

Elle s'obtient à partir de la formule suivante :

$$\delta = 23.45 \sin \left[\frac{360}{365} (nj + 284) \right] \text{ [dégré]} \quad (11)$$

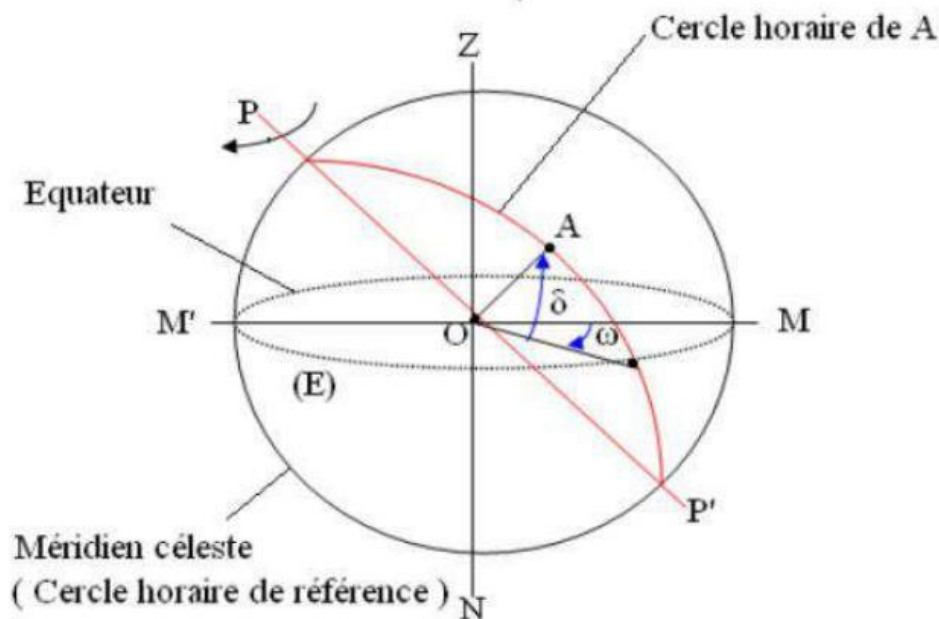
nj : Le numéro du jour dans l'année compté à partir du 1er Janvier.

I.7.2. Angle horaire du soleil (ω) :

C'est l'angle compris entre la méridienne 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 :

$$\omega = 15 \times (TSV - 12) \quad (12)$$

TSV : temps solaire vrai.



Figure(6) : Les coordonnées horaires

I.8.Coordonnées horizontales [6]

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

I.8.1-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 :

$$\sin(h) = \sin(\theta) \cdot \sin(\delta) + \cos(\theta) \cdot \cos(\delta) \quad (13)$$

θ :Latitude du lieu.

δ : La déclinaison du soleil. ω : L'angle horaire.

I.8.2-Azimut solaire (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 :

$$\sin(a) = (\cos(\delta) \cdot \sin(\omega)) / \cos(h) \quad (14)$$

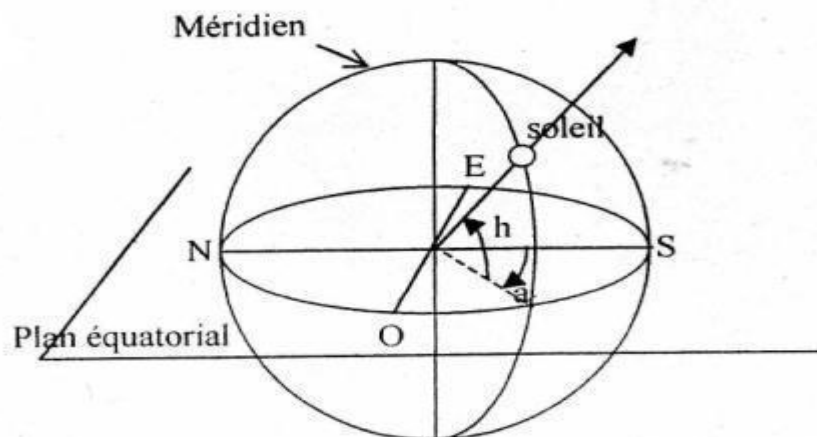


Figure (7) : Coordonnées horizontales .

I.9. Notions de Temps :

I.9.1. Temps solaire vrai (TSV)

Le temps solaire vrai, en un instant et un lieu donné, est l'angle horaire du soleil w . Il est donné sous la forme suivant [6] :

$$\text{TSV} = 12 + \omega/15 \quad (15)$$

I.9.2. Temps solaire moyen (TSM)

Il est appelé parfois temps locale (TSM), Il est donné par la relation [6] :

$$\text{Et} = \text{TSV} - \text{TSM} \quad (16)$$

Donc :

$$\text{TSM} = \text{TSV} - \text{Et} \quad (17)$$

Avec :

Et : l'équation du temps, qui corrige le T.S.V par rapport au T.S.M.

$$\text{Et} = 9.87 \sin(2N') - 7.53 \cos(N') - 1.5 \sin(N') \text{ [min]} \quad (18)$$

$$N' = (n_j - 81)' (360/365) \quad (19)$$

I.9.3. Temps universel (TU)

C'est le temps civil moyen du méridien de Greenwich (méridien origine) appelé encore GMT (Greenwich Mean Time) [8]:

$$\text{TU} = \text{TSM} - (\phi/15) \quad (20)$$

Où : ϕ : est la longitude.

$\phi > 0$; pour les villes situées à l'Est de Greenwich.

$\phi < 0$; pour les villes situées à l'Ouest de Greenwich.

TU = TSM ; pour le méridien de Greenwich.

I.9.4. Temps légal (TL)

C'est le temps officiel d'un état, il est donné par [8] :

$$\mathbf{TL = TU + \Delta H} \quad \mathbf{(21)}$$

ΔH : le décalage horaire entre le méridien de Greenwich et l'état considéré.

$\Delta H = 1$ heure pour l'Algérie.

I.10. Conclusion :

Dans ce chapitre , nous avons présenté quelques éléments nécessaires pour faire une étude théorique d'un capteur solaire , on présenté à ce chapitre une description d'un soleil , les différentes types rayonnement solaire , les différents types de coordonnées (horaire , horizontale , géographiques) qui bases sur des ongles , et les notion de temps (TSV , TSM , TU, TL) avec les modélisations mathématiques qui explique ces phénomènes .

Chapitre II :
**Généralités sur les capteurs
solaires**

II.1 Introduction :

Les capteurs solaires sont des dispositifs dont le principe de fonctionnement est basé sur la transformation de l'énergie solaire en chaleur par les panneaux solaires thermique, et en électricité par les panneaux photovoltaïques. Dans cette partie une généralités sur les panneaux photovoltaïque et une étude théorique de capteur solaire plan en détaillant ses différents composants, son fonctionnement Et les différentes corrélations permettant d'évaluer les coefficients des échanges thermiques mis en jeu au sein du capteur.

II.2. les panneaux photovoltaïques :

Ces sont des dispositifs consistent à des cellules photovoltaïques formée des semi-conducteurs en deux couches dopées positivement (P) et négativement (N) qui transformer l'énergie de rayonnement à énergie électrique par l'effet photovoltaïque.

II.3. principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque:

Une cellule solaire est un composant électronique qui convertie la lumière du soleil en électricité par l'effet photovoltaïque.

- Le principe de la conversion photovoltaïque peut être décrit par les mécanismes suivants :
 - ❖ absorption des photons incidents et création de paires électron-trou si l'énergie du photon incident est supérieure au gap du matériau.
 - ❖ Diffusion des porteurs de charges minoritaires jusqu'à la zone de charge d'espace.
Transfert des charges électriques dans la zone où elles vont être majoritaires grâce au champ électrique présent au niveau de la zone de charge d'espace de la jonction PN et collecte. Au cours de la diffusion des charges vers la zone de charge d'espace les charges électriques peuvent se recombiner et être perdues.
 - ❖ dissipation de puissance dans la charge et dans les résistances parasites.

II.4. Les différentes technologies :

On peut distinguer trois grandes familles de cellules solaires :

II. 4.1. Les cellules au silicium cristallin :

Dans lesquelles le principe actif est du silicium dopé en grande quantité. Malgré son ancienneté, cette technologie reste la plus appréciée pour sa puissance et ses performances (le rendement unitaire varie de 12 à 20 % pendant environ 30 ans). Mais son gros inconvénient reste qu'il offre faible rendement sur un faible éclaircissement et un coût élevé.

- Les cellules les plus populaires et les plus utilisées sont les monocristallins et les polycristallins.

II.4.2. les cellules à base de couches minces :

Qui excelle dans le processus de dépôt d'un matériau semi-conducteur mince sur différents substrats et donnant un aspect uniforme, résultant en des unités avec un rendement légèrement inférieur (de 7 à 13%). Il a un coût moindre en raison de son manque de rentabilité, mais il donne un bon rendement sur un faible éclaircissement par-rapport les anciennes cellules.

II.4.3. les cellules à base de photovoltaïque organique :

Segment sur lequel la recherche s'intensifie dans la perspective de produire des cellules à très bas coût pour des applications nouvelles. Leur principe de fonctionnement est basé sur les cellules à colorant de Michaël Grätzel avec des variations sur le type de matériaux utilisés. Avec des rendements de l'ordre de 3 à 5 %, leur point faible reste aujourd'hui encore leur durée de vie limitée.

II.4.4. Les cellules hybrides :

Ces cellules combinent des technologies de différents types pour obtenir des rendements améliorés.

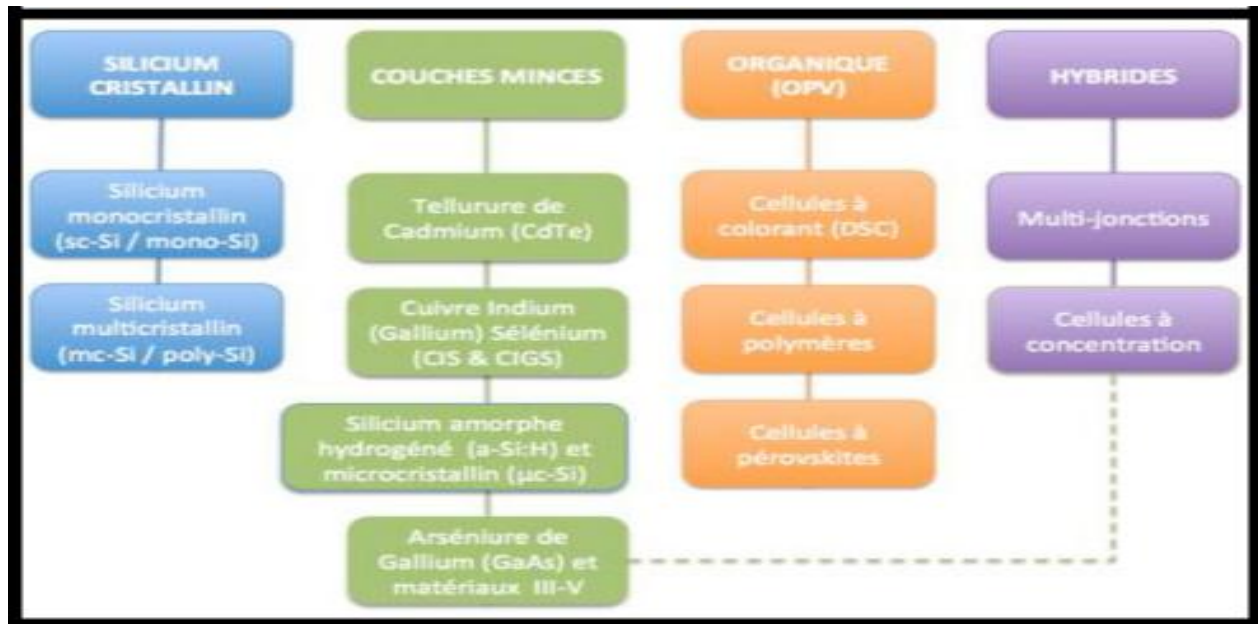


Figure (8) : Classification des principales technologies de cellules solaires PV

II.5. Dopage des semi-conducteurs (silicium) :

II.5.1. Dopage de type n (négatives) :

Dopage de type N, qui consiste à insérer des atomes de type donneur d'électrons [contenant 5 électrons dans la dernière orbitale] afin d'obtenir une densité plus élevée d'électrons libres, chargés négativement .

Les principaux atomes d'impuretés sont [9] :

- ❖ Le phosphore (P)
- ❖ L'Arsenic(As)
- ❖ Le bismuth(Bi)
- ❖ L'antimoine (Sb)

II.5.2. Dopage de type p (positif) :

Le dopage de type P, qui consiste à insérer des atomes [contenant 3 électrons dans la dernière orbitale] de type accepteur d'électrons afin d'avoir une densité d'électrons libres plus faible, et donc un excès de trous, sont considérés comme chargés positivement.

- Les principaux atomes d'impuretés trivalentes sont]9[:
 - ❖ le bore (B)
 - ❖ L'aluminium (Al)
 - ❖ Le gallium(Ga)

II.6. Les capteurs solaires :

Un capteur solaire **figure(9)** est un dispositif qui absorbe le rayonnement solaire et le convertit en chaleur qui sera transmise à un fluide appelé "fluide caloporteur".

Ce système de captage a pour base l'effet de serre où le rayonnement est capté dans le domaine du visible et du proche infrarouge (longueurs d'ondes comprises entre 0.3 et 3 μm), il traverse la vitre et il est piégé à l'intérieur où il est capté par la surface absorbante.

L'absorbeur émet du rayonnement thermique dans un domaine de l'infrarouge éloigné du visible (entre 4 et 30 μm). Ce rayonnement est totalement arrêté par la paroi du verre qui s'échauffe et rayonne par moitié vers la surface absorbante et par moitié vers l'extérieur. Le fluide qui circule sous cette paroi récupère par convection une partie de cette énergie absorbée et subit une élévation de température à la traversée du capteur.



Figure (9) : Capteur solaire thermique.

II.7. Description du capteur plan :

Un capteur plan utilise l'effet de serre et parvient à récupérer environ 50% de l'énergie incidente. Il se compose des éléments suivants : le vitrage, l'absorbeur, l'isolant et le fluide caloporteur.

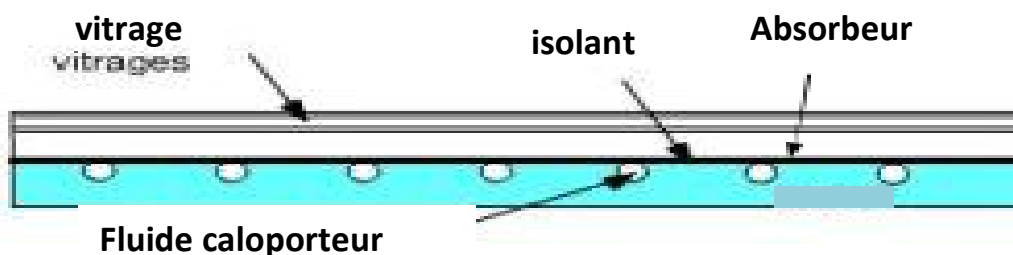


Figure (10) Composants d'un capteur solaire plan

Chapitre II: généralités sur les capteurs solaires

II.7.1. Le vitrage (couvercle) :

C'est la partie à travers la quelle le rayonnement atteint la surface de l'absorbeur. L'une de ses caractéristiques est de réaliser l'effet de serre.

Les inconvénients du verre sont sa fragilité, son poids et son prix élevé en double vitrage.

L'inconvénient principal des matériaux plastiques est la dégradation de certaines de leurs propriétés avec le temps pour certains, ou le prix élevé pour d'autres. Le tableau (2) fournit quelques indications sur ces matériaux:

Matériau	Facteur de transmission solaire (%)	Masse volumique (kg/m ³)	Conductivité thermique (w/m.k)
Verre	85-92	2700	0.93
Polycarbonate	82-89	1200	0.2
Polyester armé	77-90	1400	0.21
Polyfluoroéthylène	97	2.15	0.25
Opoyléne			
Polyflurure	93	1.50	0.12
Vinyle			

Tableau (2) : Propriétés de quelques surfaces transparentes au rayonnement solaire mais Opaques au rayonnement infrarouge.

II.7.2. L'absorbeur:

L'absorbeur est l'élément central du capteur solaire, il absorbe le rayonnement solaire global de courtes longueurs d'onde et le convertit en chaleur. [10]

Il est constitué d'une plaque a laquelle sont intègres des tubes à travers lesquels circule le fluide caloporteur. Le matériau constituant la plaque de l'absorbeur peut être soit métallique soit en matière plastique laquelle est utilisée uniquement dans le cas où un milieu agressif circule directement dans l'absorbeur tel est le cas de l'eau d'une piscine. [10]

Les métaux utilisés : le cuivre, l'acier inoxydable, ou bien l'aluminium, qui ont de bonnes conductibilités thermiques.

Chapitre II: généralités sur les capteurs solaires

Métal	Conductivité thermique (w/m.K)	Chaleur Massique (J/kg.k)	Masse volumique (kg/m ³)	Diffusivité (10 ⁻⁶ m ² /s)
Cuivre	384	398	8900	108
Acier Inoxydable	14	460	7800	04
Aluminium	204	879	2700	86

Tableau (3) : Caractéristiques thermo-physiques de matériaux métalliques.

L'absorbeur ne doit pas être trop mince. En pratique, on emploie généralement une feuille de cuivre ou d'aluminium de 0.2 mm d'épaisseur avec des variantes de 0.15 à 0.3 mm.

II.7.3. L'isolant :

L'absorbeur doit transmettre l'énergie captée au fluide caloporteur en évitant les pertes thermiques par conduction, par convection et par rayonnement, des différentes parties périphériques vers l'extérieur. Les solutions adaptées sont les suivantes :

- **Partie avant de l'absorbeur:**

La lame d'air située entre la vitre et l'absorbeur se comporte comme un isolant vis-à-vis de la transmission de chaleur par conduction. Cependant, si l'épaisseur de cette lame est trop grande, une convection naturelle intervient, d'où une perte d'énergie. Pour les températures usuelles de fonctionnement du capteur plan, l'épaisseur de la lame d'air est de 2.5 cm. En plaçant deux vitres, on limite les pertes dues à la réémission ainsi que les pertes par conduction et par convection.

- **Parties arrière et latérale:**

Afin de limiter les pertes thermiques à la périphérie du capteur, on peut placer une ou plusieurs couches d'isolant qui doit résister et ne pas dégazer aux hautes températures, sinon, il faut s'attendre à voir apparaître un dépôt sur la face intérieure de la couverture [11].

Chapitre II: généralités sur les capteurs solaires

Matériau	Conductivité thermique (w/m.k)	Masse volumique (kg/m ³)	Chaleur massique (J/kg.k)	Diffusivité (10 ⁻⁷ m ² /s)
Air (à 20°C)	0.025	1.2	1003	208
Laine de verre	0.036	40	840	10.7
Polystyrène Expansé	0.040	20	1500	13.3
Bois de pin	0.118	500	1210	1.95

Tableau (4) : Propriétés thermiques de quelques matériaux isolants.

En plus d'utiliser un isolant pour minimiser les pertes thermiques on peut augmenter la résistance de contact entre la plaque, l'isolant et le coffre en évitant de presser ces surfaces les unes contre les autres car dans le cas d'une forte rugosité, il peut exister entre les deux faces en contact un film d'air qui empêche la chaleur de passer facilement par conduction. Le choix du matériau à utiliser dépend de :

- Sa résistance aux températures de fonctionnement.
- La permanence de ces caractéristiques dans le temps (conductivité thermique).
- La résistance aux chocs, à l'humidité, au feu, à l'eau de pluie....etc.

II.7.4. Le fluide caloporteur:

Pour évacuer la chaleur emmagasinée par la surface absorbante, on utilise habituellement soit l'air, soit l'eau, des mélanges eau glycol sont aussi employés à cause des conditions climatiques, ces mélanges ont une chaleur spécifique inférieure à celle de l'eau pure. Par rapport à l'eau, l'air n'a pas de problème de gel l'hiver ou d'ébullition l'été et il n'y a pas de problème de corrosion. Néanmoins l'air ne peut servir qu'au chauffage de locaux et les transferts thermiques sont moins bons qu'avec l'eau [14].

II.8. Différents types capteurs solaires :

II.8.1. le capteur à tube sous vide :

Les capteurs sous vide permettent d'atteindre des températures plus élevée (jusqu'à 120°C). Ils sont constitués de tubes en verre dans lesquels se trouve un absorbeur sélectif. Le

Chapitre II: généralités sur les capteurs solaires

vide réalisé dans les tubes permet de diminuer fortement les pertes thermiques du capteur, l'autre avantage de ce capteur est de pouvoir être disposé suivant n'importe quelle inclinaison ce qui facilite son intégration [15] .

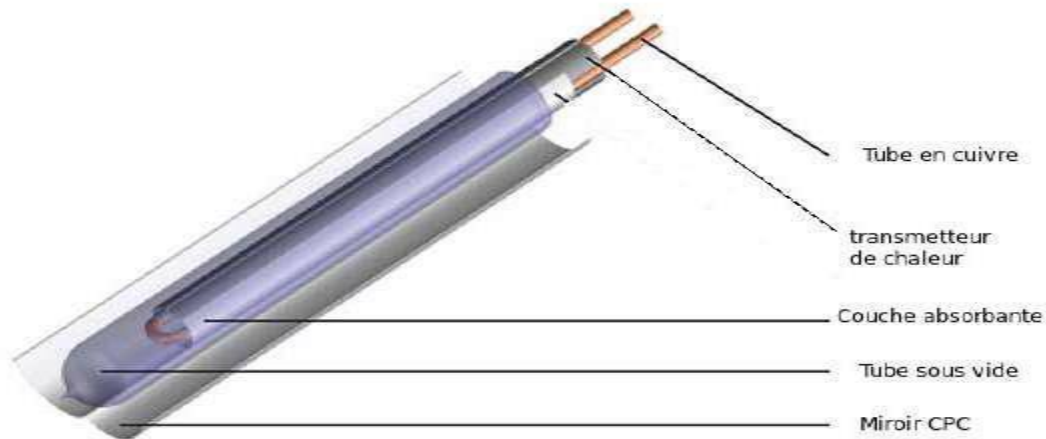


Fig (11) capteur solaire à tube sous vide.

II.8.2. Les capteurs solaires à concentrations :

Les capteurs à concentration fonctionnent avec un système de poursuite du soleil. Il y a trois types de ce capteur :

II.8.2.1- Les capteurs à concentration cylindro-paraboliques :

Les capteurs à concentration cylindro-paraboliques concentrent la lumière sur un absorbeur linéaire, avec un système de poursuite du soleil selon une seule direction.

II.8.2.2- Les capteurs à concentration du type dishes :

Les capteurs à concentration du type « dishes » concentrent la lumière sur un absorbeur ponctuel, avec un système de poursuite du soleil selon deux directions.

II.8.2.3- Les centrales à tour :

Les installations de ce type concentrent la lumière sur un absorbeur ponctuel, à l'aide de miroirs (appelé "héliostats") qui suivent le soleil selon deux directions, sur une chaudière située au sommet d'une tour.

II.8.3. Les capteurs solaires plans :

II.8.3.1- Le capteur solaire à eau :

Le capteur solaire thermique à eau est constitué principalement d'une couverture transparente, d'un absorbeur, d'un conduit permettant à l'eau de collecter l'énergie cédée par l'absorbeur, et d'un isolant. **La figure (12)** représente le principe de fonctionnement d'un tel capteur [16]

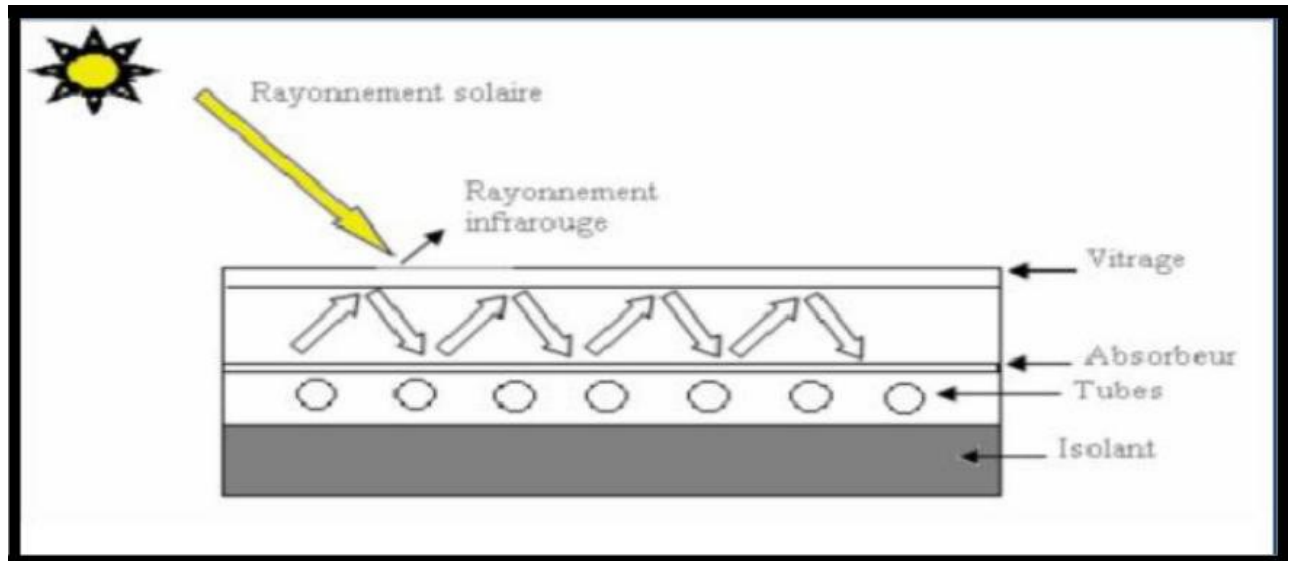


Figure (12) : capteur solaire thermique à eau, vue en coupe. Les conduits d'eau sont ici intégrés dans l'absorbeur.

Le principe est le suivant : le rayonnement solaire, dont le spectre se situe essentiellement dans les longueurs d'onde du visible (courtes longueurs d'onde), passe à travers la couverture Transparente (constituée ici d'un vitrage), et arrive à l'absorbeur, celui-ci s'échauffe, et transmet de l'énergie thermique par convection à l'eau qui circule dans les conduits, et réémet du rayonnement thermique vers l'extérieur (grande longueur d'onde). L'isolant permet de réduire les Pertes thermiques du capteur.

On peut distinguer deux types de systèmes :

- Les systèmes à basse pression de circulation très simple, à eau chaude sans pression.
- Les systèmes à haute pression, à eau chaude à haute pression utilisant une pompe.

II.8.3.2- Le capteur solaire à air :

Contrairement au capteur à eau où le fluide passe dans les tuyaux, le conduit d'air est en générale formé par l'espace situé entre la couverture et l'absorbeur. De

Chapitre II: généralités sur les capteurs solaires

même que pour le capteur à eau, l'écoulement peut être forcé ou naturel. Le coefficient de transfert de chaleur de l'air est approximativement de deux ordres de grandeurs plus faible que celui de l'eau.

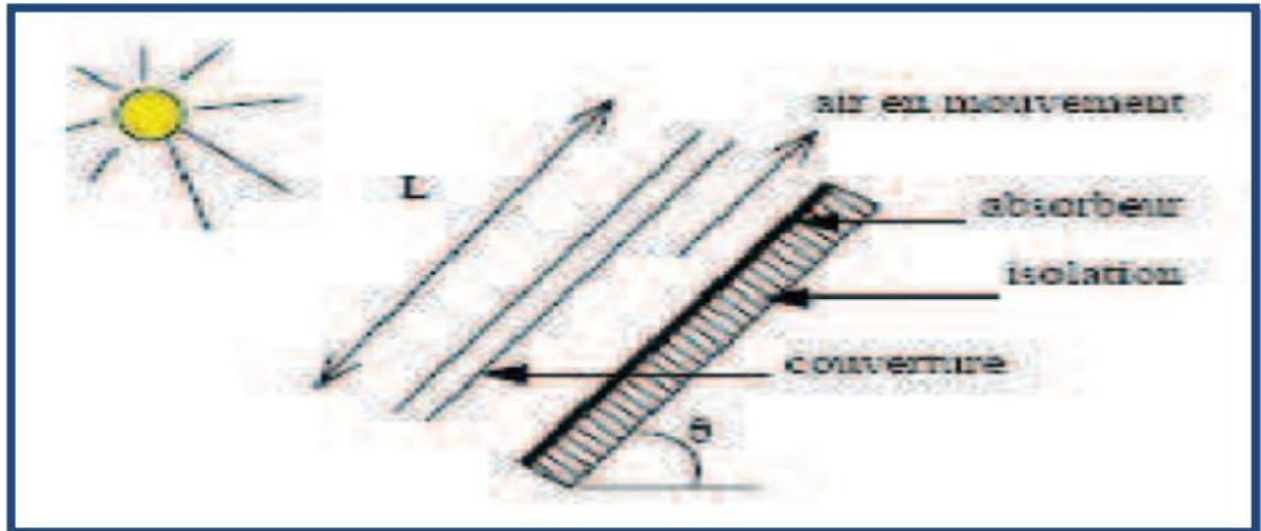


Figure (13) Capteur solaire plan à air

II.9 Les paramètres influant sur le fonctionnement d'un capteur solaire :

L'efficacité thermique du capteur solaire dépend fortement du matériel, de la forme, des dimensions, de la disposition du capteur et des conditions environnantes. Tous ces facteurs peuvent être classés en deux catégories principales :

II.9.1. Les paramètres externes :

Les principaux paramètres externes qui peuvent intervenir directement sur les performances d'un capteur plan sont [16]

- Paramètre d'ensoleillement : le rayonnement solaire, position du soleil, durée d'insolation, ...etc.
- Température ambiante.
- Vitesse du vent.

II.9.2. Les paramètres internes :

a-Paramètres géométriques [16] :

- Les paramètres de position : angle d'inclinaison, orientation du capteur.
- La surface du capteur.

Chapitre II: généralités sur les capteurs solaires

- Les dimensions de différents éléments : épaisseur, longueur et largeur.

b-Paramètres de fonctionnement :

- La température d'entrée du fluide caloporteur.
- Le débit massique du fluide caloporteur.
- Les températures des différents éléments du capteur.

Ces paramètres sont très importants. Ils permettent, en tenant compte du coût, d'avoir une température de sortie du fluide élevée (puissance utile élevée). En d'autres termes ; un meilleur rendement du capteur.

Chapitre III :
Étude théorique des CSP à air :
Modélisation mathématique.

III.1. Introduction :

Dans le chapitre précédent nous avons parlé sur des différents types des capteurs thermiques. Nous avons choisi parmi eux le capteur solaire thermique plan à air.

Dans ce chapitre nous avons concentré sur les différents modes de transfert de chaleur en générale et dans le capteur solaire, quelques formules mathématiques qui représente les coefficients de pertes thermiques et le rendement.

III.2- Transfert thermique :

Un transfert thermique est l'un des modes d'échange d'énergie interne entre deux systèmes. On distingue trois types de transfert thermique (conduction, convection, rayonnement). Ces trois modes sont présents dans chaque type des collecteurs solaires plans et autres avec un fluide caloporteur air ou liquide tel que l'eau.

III.2.1- Conduction :

La conduction représente le processus de propagation de la chaleur par le contact direct entre les particules du corps dont les différentes parties ne sont pas isothermes. Dans les solides diélectriques la conduction se fait par les ondes élastiques (les phonons) et dans les solides conducteurs électriques par la diffusion des électrons ou porteurs de charge mobiles en parallèle avec les ondes élastiques. Dans les liquides en l'absence de convection la conduction de la chaleur se fait également par l'intermédiaire des ondes élastiques. Dans les gaz en absence de convection, la conduction s'effectue par la divulsion moléculaire.

La conduction s'exprime alors par l'équation fondamentale suivant

$$Q_{cd} = - \lambda \cdot A \cdot \overrightarrow{\text{grad}} (T) \quad (20)$$

$$Q_{cd} = - \lambda \cdot A \cdot \frac{\partial T}{\partial x} \quad (21)$$

Avec :

Q_{cd} : Le flux de chaleur par conduction (W).

A : Aire de la section de passage du flux de chaleur (m^2).

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

x: Variable d'espace dans la direction du flux (m).

III.2.2 - Convection :

Le transfert de chaleur s'effectue d'un fluide (liquide ou gazeux) à un corps solide (par exemple entre l'air et une paroi). Les particules se trouvent en mouvement entre elles. On distingue deux types de convection :

III.2.2.1 - La convection libre ou naturelle :

Ce type d'échange thermique a comme origine le mouvement produit par les différences de densité entre les particules chaudes et celles qui sont froides dans un fluide situé dans un champ de pesanteur. En général le fluide chaud est moins dense et a tendance à s'élever dans le champ de pesanteur.

III.2.2.2 - La convection forcée :

Le mouvement du fluide est induit par une cause indépendante des différences de température (pompe, ventilation ...).

C'est le transfert de chaleur entre un solide et un fluide, l'énergie étant transmise par déplacement du fluide.

La convection forcée est en général jumelée par de la convection libre.

Ce mécanisme de transfert est régi par la loi de Newton :

$$Q_{cv} = h_c \cdot S \cdot (T_{ss} - T_{fcs}) \quad (22)$$

Avec:

Q_{cv} : Le flux de chaleur par convection (W).

h_c : Le coefficient de transmission thermique par convection ($W/m^2 \cdot ^\circ C$).

S : La surface de transmission de chaleur (m^2).

T_{ss} : La température de surface de solide ($^\circ C$).

T_{fcs} : La température du fluide avant son contact avec le solide

($^\circ C$). ➤ En convection forcée

Chapitre III : Étude théorique des CSP à air : Modélisation mathématique

En l'absence de convection naturelle, le coefficient d'échange h_c par convection est indépendant de la différence de la température de la paroi et le fluide mais il dépend des 6 grandeurs suivantes :

U_m : vitesse moyenne du fluide

ρ : masse volumique du fluide

C_p : Chaleur spécifique du fluide

μ : viscosité thermique du fluide

λ : conductivité thermique du fluide

D : dimension caractéristique de la surface d'échange



A partir de ces grandeurs, on définit les nombres sans dimension suivants :

$$\text{Nu} = h_c \cdot \frac{D}{\lambda} \quad \text{Nombre de Nusselt}$$

$$\text{Re} = \rho \cdot \frac{U_m D}{\mu} \quad \text{Nombre de Reynolds}$$

$$\text{Pr} = \mu \cdot \frac{C_p}{\rho} \quad \text{Nombre de Prandtl}$$

Les travaux expérimentaux étudiant le transfert de chaleur par convection dans une situation Donnée fournissent leurs résultats sous forme de corrélation mathématiques $N_u = f(\text{Re}, \text{Pr})$ qui permettent de calculer h_c par :

$$h = \text{Nu} \cdot \frac{D}{\lambda} \quad (23)$$

Re : le nombre de Reynolds caractérise le régime d'écoulement du fluide

Pr : le nombre de Prandtl caractérise l'échange thermique entre le fluide et la paroi.

N_u : le nombre de Nusselt caractérise l'échange thermique entre le fluide et la paroi.

En convection naturelle :

Dans la convection naturelle, le mouvement du fluide est dû aux variations de la masse volumique du fluide provenant des échanges de chaleur entre le fluide et la paroi. Le

Chapitre III : Étude théorique des CSP à air : Modélisation mathématique

fluide est mis en mouvement sous l'effet des forces d'Archimède car sa masse volumique est onction de sa température.

La convection forcée est négligeable si :

$$Gr/Pr^2 > 100$$

$$Nu = C \cdot (Gr Pr)^n$$

Convection laminaire $Gr \cdot Pr < 109 \Rightarrow n=1/4$

Convection turbulente $Gr \cdot Pr > 109 \Rightarrow n=1/3$

III.2.3- Le rayonnement

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

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

$$Q_r = \varepsilon \cdot \zeta \cdot S \cdot (T_s^4 - T_{es}^4) \quad (24)$$

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

ε : émissivité thermique du matériau.

ζ : constante de Stefan-Boltzmann évaluée à $5,6 \cdot 10^{-8} \text{ (W/m}^{-2}\text{k}^{-4}\text{)}$

T_s : Température de la surface.

T_{es} : Température du milieu environnant la surface.

S : Aire de la surface (m^2).

III.3. Modélisation de l'insolateur

III.3. 1. Méthode par tranches (Méthode pas à pas) [17]

Cette méthode consiste à découper l'insolateur en tranches fictives de longueur Δx dans le sens l'écoulement du fluide caloporteur et à écrire les bilans des chaque tranche .il

Chapitre III : Étude théorique des CSP à air : Modélisation mathématique

est commode pour cela d'utiliser les analogies qui existent entre le transfert de chaleur et le transfert d'électricité (la figure 15) schématise les transferts thermique qui interviennent dans l'isolateur décrit sur la figure (14) et la figure (17) présente le schéma électrique relatif a une section , dans la section d'indice j. L'application de la loi d'ohm ou réseau électrique conduit aux équations suivantes :

$$\frac{M_v C_{Pv} (T_{ve}(j) - T_{ve}^*(j))}{D_t \cdot S_{urf}} = P_v + h_{rvc} (T_c - T_{ve}(j)) + h_{vv} (T_a - T_{ve}(j)) + h_{cv} (T_{vi}(j) - T_{ve}(j)) \quad (25)$$

$$\frac{M_v C_{Pv} (T_{vi}(j) - T_{vi}^*(j))}{D_t \cdot S_{urf}} = h_{cv} + (T_{ve}(j) - T_{vi}(j)) + h_{rvn} (T_n(j) - T_{vi}(j)) + h_{vvn} (T_n(j) - T_{vi}(j)) \quad (26)$$

$$\frac{M_n C_{Pn} (T_n(j) - T_n^*(j))}{D_t \cdot S_{urf}} = h_{rvn} + (T_{vi}(j) - T_n(j)) + h_{rvn} (T_{vi}(j) - T_n(j)) + h_{van} (T(j-1) - T_n(j)) + h_{rni} + (T_{ii}(j) - T_n(j)) + P_n \quad (27)$$

$$\frac{M_i C_{Pi} (T_{ii}(j) - T_{ii}^*(j))}{D_t \cdot S_{urf}} = h_{rni} + (T_n(j) - T_{ii}(j)) + h_{van} (T(j-1) - T_{ii}(j)) + h_{ci} (T_{ie}(j) - T_{ii}(j)) \quad (28)$$

$$\frac{M_i C_{Pi} (T_{ii}(j) - T_{ii}^*(j))}{D_t \cdot S_{urf}} = h_{ci} + (T_{ii}(j) - T_{ie}(j)) + h_{eis} (T_{SD} - T_{ie}(j)) + h_{vv} (T_a - T_{ie}(j)) \quad (29)$$

$$T(j) = T(j-1) \frac{h_{van} \cdot S_{urf} \cdot (T_n(j) + T_{ii}(j)) - 2T(j-1)}{\dot{m} C_p} \quad (30)$$

Dans ces équation, D_t désigne le pas de temps surface de la section et l'astérisque (*), l'époque t. D_t . Lorsque le fluide caloporteur ne circule pas (pendant la nuit ou lorsque la puissance incidente est inférieure ou seuil de fonctionnement). L'équation (30) Doit être remplacée par :

$$T(j) = \frac{T_n(j) + T_{ii}(j)}{2} \quad (31)$$

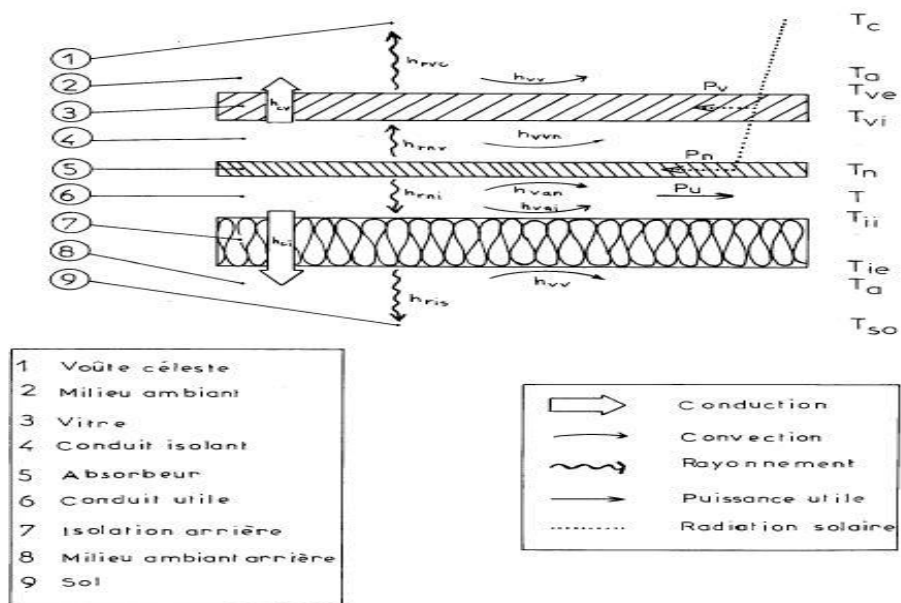


Figure (14). Représentation schématique des transferts thermique dans l'isolateur

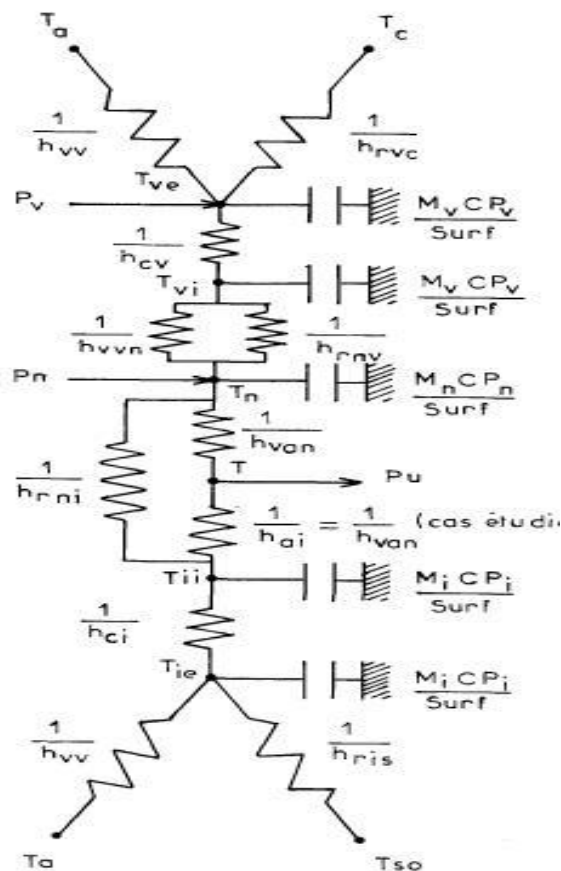


Figure (15). Schéma électrique équivalente simplifiée a une section d'isolateur

III.3.2. Méthode globale [17]

Dans cette méthode on suppose que le régime est permanent et que les éléments de l'insolateur se trouvent chacun à une température moyenne constante. La puissance utile devient alors :

$$P_u = \frac{\dot{m} C_p}{A} (T_s - T_e) \quad (32)$$

Dans cette expression, T_s est supposée connue, mais il faut calculer T_s .

On résout pour cela l'équation de la chaleur dans le fluide caloporteur :

$$\rho C_p \left(\frac{dT}{dt} + \vec{v} \overrightarrow{\text{grad}} T \right) = d_{iv} (\vec{q}) + \sigma_T \quad (33)$$

Où \vec{q} est le flux de conduction σ_T l'amplitude volumique de la source de chaleur d'origine solaire par unité de volume du fluide caloporteur de masse volumique ρ .

En régime permanent et en négligeant la conduction dans le fluide, il vient :

$$\rho C_p \vec{v} \overrightarrow{\text{grad}} T = \sigma_T \quad (34)$$

Où \vec{v} est la vitesse du fluide.

Si l'écoulement s'effectue suivant la coordonnée x , cette équation s'écrit :

$$\rho C_p V \frac{dT}{dx} = \sigma_T \quad (35)$$

III.4. Modélisation des coefficients d'échanges thermiques Capteur solaire à air plan simple

Les échanges thermiques convectifs entre la paroi absorbante et l'extérieur dans un capteur solaire couvert que nous appellerons capteur plan simple peuvent être schématisés comme indiquée sur la figure suivant (16) [18].

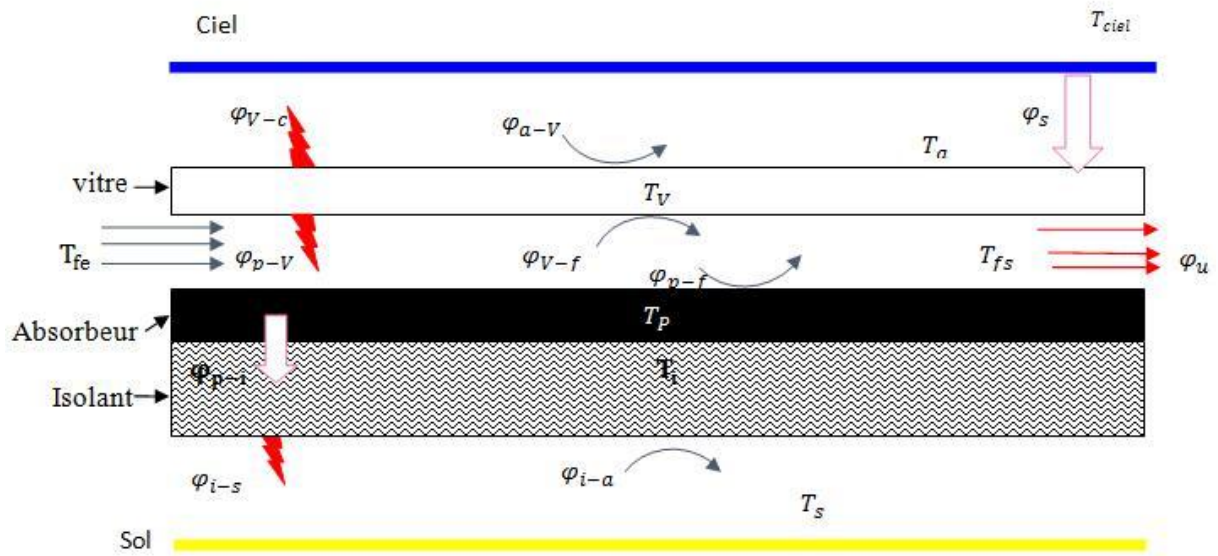


Figure (16) : Différents échanges thermiques dans un capteur à air.[19]

Pour déterminer les divers coefficients d'échange thermique h , on introduit les relations suivantes, qu'il s'agit d'un transfert par conduction, rayonnement ou convection [20]. Le schéma électrique équivalent des différents transferts thermiques est représenté sur la figure (17).

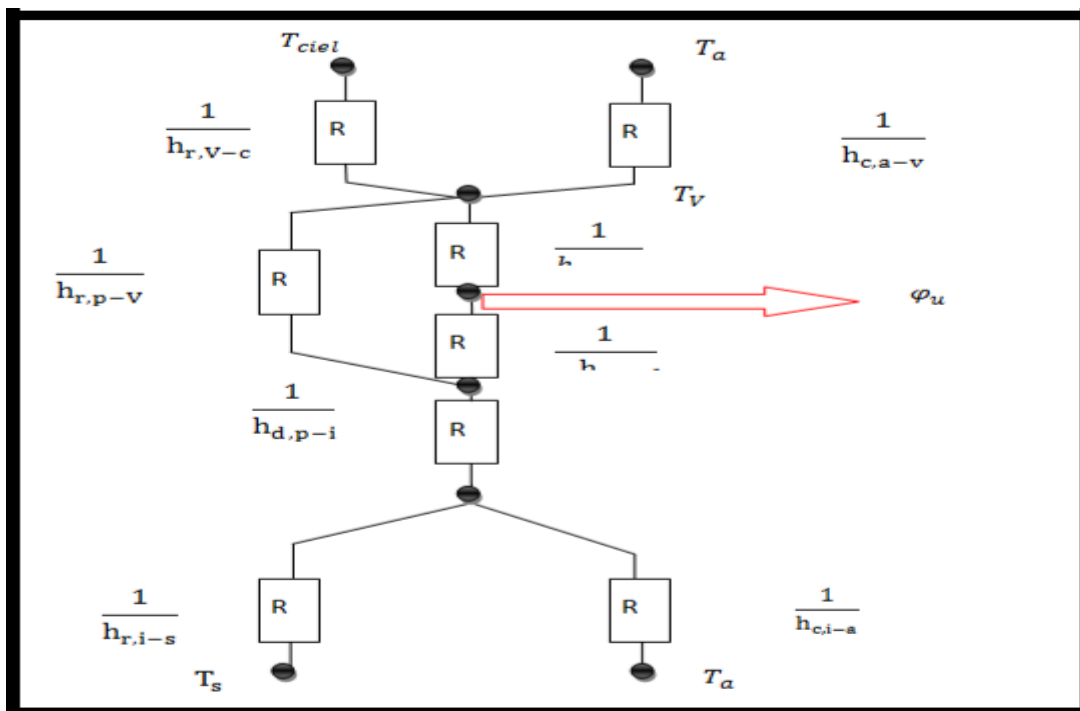


Figure (17) : Schéma électrique des résistances dans un capteur solaire à air. [19]

Dans un capteur solaire thermique plan ils existent les trois modes de transfert thermique, conduction, convection et rayonnement.

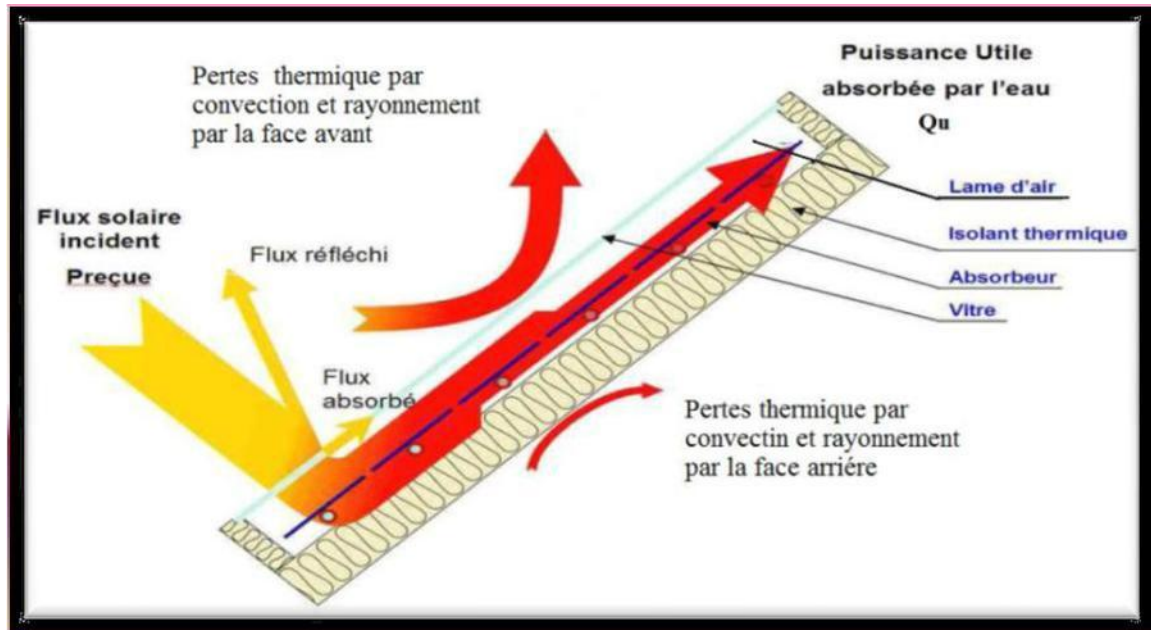


Figure (18) : Les différents échanges thermiques dans un capteur plan vitré

III.4.1- Échanges thermiques au niveau de la vitre [21]

En plus du flux de chaleur échangé par rayonnement entre l'absorbant et le vitrage, il existe un autre flux de chaleur incident (Q_v) qui sera absorbé par la vitre mais avec peu d'importance.

Avec :

$$Q_v = \alpha_v \cdot s_v \cdot G \quad (36)$$

α_v : coefficient d'absorption de la vitre.

s_v : Surface de la vitre (m^2).

G : Le rayonnement global.

Le flux de chaleur échangé par convection entre le vitrage et l'air ambiant est donné par l'équation (37) :

$$Q_{cvam} = h_{cvam} \cdot S_v \cdot (T_v - T_{am}) \quad (37)$$

T_{am} : La température ambiante ($^{\circ}K$).

Chapitre III : Étude théorique des CSP à air : Modélisation mathématique

h_{cvam} : coefficient d'échange par convection entre la vitre et l'air ambiant. Ce dernier est dû entièrement à la vitesse du vent ($W/m^2 \cdot ^\circ K$).

On pourra utiliser la corrélation de Hottel et Woertz :

$$h_{cvam} = 5.67 + 3.86 \cdot V \quad (38)$$

V : La vitesse du vent (m/s).

Le flux de chaleur échangé par rayonnement entre le vitrage et le ciel est donné par l'équation (39) :

$$= h_r \times S_v \times (T_c^4 - T_v^4) \quad (39)$$

T_c : La température de ciel ($^\circ K$).

T_v : La température de vitre ($^\circ K$).

h_r : coefficient d'échange par rayonnement entre la vitre et ciel ($W/m^2 \cdot ^\circ K$).

$$h_r = \frac{1}{2} \times \epsilon_v (1 + \cos \theta) \times (T_c^2 + T_v^2) \quad (40)$$

$$= 0.0552 \cdot 1.5 \quad (41)$$

III.4.2- Échanges thermiques au niveau de l'absorbeur [21]

Le flux de chaleur échangé par convection entre l'absorbeur et le vitrage est donné par l'équation (42)

$$= h_c \cdot (T_v - T_{ab}) \quad (42)$$

T_{ab} : La température de l'absorbeur ($^\circ K$).

S_{ab} : La surface de l'absorbeur (m^2)

h_{cabv} : Le coefficient d'échange thermique par convection entre la vitre et l'absorbeur ($W/m^2 \cdot ^\circ K$).

$$h_c = Nu \times \left(\frac{e}{\lambda_{air}} \right) \quad (43)$$

$$Nu=1+1.446 \times \left(1 - \frac{1708 \times (\sin(1.8\beta))^{1.6}}{Ra \times \cos(\beta)}\right) \times \left(1 - \frac{1708}{Ra \times \cos(\beta)}\right) + \left(\frac{Ra \times \cos(\beta)}{5830}\right)^{0.666} - 1 \quad (44)$$

Pr : nombre de Prandtl.

e : épaisseur de la lame d'air séparant la vitre de la plaque absorbante (m).

Gr : nombre de Grashof.

λ_{air} : conductivité thermique de l'air (W/m.K).

β : inclinaison du capteur (rad).

Ra : le nombre de Rayleigh

- Le flux de chaleur échangé par rayonnement entre l'absorbeur et le vitrage est donné par l'équation (45) :

$$= h_{rav} \cdot (-) \quad (45)$$

III. 5- Perte globale d'énergie [21]

Les pertes thermiques sont dues à la différence de température entre l'absorbeur et le milieu ambiant. Elles se manifestent selon les trois modes de transfert de chaleur. Elles se divisent en trois catégories: les pertes vers l'avant, les pertes vers l'arrière et les pertes latérales.

III.5.1- Coefficient de pertes thermique vers l'avant du capteur :

Le coefficient de pertes thermiques vers l'avant du capteur solaire à air, est donné par [22]:

$$U_{av} = \frac{1}{\left(\frac{1}{h_{rvc} + h_{cvam}}\right) + \left(\frac{1}{h_{cabv} + h_{rav}}\right)} \quad (46)$$

III.5.2- Coefficient de pertes thermiques vers l'arrière du capteur :

Ce Coefficient est peu important car le capteur est très bien isolé dans l'arrière. Il est donnée par :

$$U_{arr} = \frac{\lambda_{isol}}{e_{isol}} \quad (47)$$

Chapitre III : Étude théorique des CSP à air : Modélisation mathématique

λ_{isol} : conductivité thermique de l'isolant (W/ °K

m). e_{isol} : épaisseur de l'isolant (m).

III.5.3- Coefficient de pertes thermiques latérales :

La valeur de ce coefficient est inférieure à celle du coefficient de pertes arrière, vu que la surface latérale du capteur est peu importante. Il est donné par :

$$U_{lat} = \left(\frac{\lambda_{isol}}{e_{isol}} \right) \left(\frac{S_{lat}}{S_c} \right) \quad (48)$$

S_{lat} : surface latérale du capteur (m²).

S_c : surface du capteur (m²).

-Le coefficient de pertes thermiques global vers l'extérieur est la somme des trois Coefficients : $UL = U_{av} + U_{arr} + U_{lat}$ (49)

III.6. Rendement instantané du capteur solaire [21]

Le rendement instantané est représenté par la relation suivant :

η = Puissance thermique utile par m²du capteur / flux solaire incident sur le plan de capteur. Puissance de sortie = Puissance captée – Pertes

$$\eta = \frac{Q_u}{S_c \cdot G} = \frac{S_c \cdot [(\alpha\tau) \cdot G - UL \cdot (T_{ab} - T_{am})]}{S_c \cdot G} \quad (50)$$

Le coefficient de pertes thermiques global vers l'extérieur Q_u :

puissance utile récupérée par le fluide caloporteur (W).

$\alpha\tau$: sont respectivement coefficient d'absorption de l'absorbeur et transparence de vitrage.

Conclusion générale :

Conclusion générale :

Dans le cadre de notre travail, nous avons fait une étude théorique d'un capteur solaire plan à air.

Au début, nous avons donné une présentation générale sur le gisement solaire et nous avons présenté la description du soleil, les différents types rayonnement solaire , les différents types de coordonnées importants qui basent sur des ongles , et les notions du temps nécessaires pour faire une étude théorique d'un capteur solaire avec les modélisation mathématique qui explique ces phénomènes .

Ensuite, nous avons présenté un aperçu général sur les capteurs solaires photovoltaïques et thermiques ainsi que leurs avantages et inconvénients et rendement.

Après cela nous avons choisi le capteur solaire plan à air pour fait une étude théorique. Nous avons présenté les modes de transfert thermique (conduction, convection et rayonnement) et les différents échanges thermiques liés au CSP et les pertes thermiques dans le but de calculer le rendement général de ce type choisis des CSP.

Bibliothèque références :

- [1] : A, Guedira; A, Benallou. Procédure de qualification des capteurs plans sous ensoleillement naturel au Maroc, Revue des Energies Renouvelables, journées de thermique, p 79-84. (2001).
- [2] : A.Bouguima , K.Abbou , Etude et réalisation d'un capteur solaire plan à eau , Mémoire pour l'Obtention du Diplôme de Master , 2014-2015 , p 5-6 .
- [3] : C, Fröhlich. 1978: World radiometric reference. World Meteorological Organization, Commission for instruments and methods of observation, report WMO 490, p 108-112.
- [4] : A, Labed; N, Moumami; K, Aoués; M, Zellouf; A, Moumami. Etude théorique et expérimentale d'un capteur solaire plan à air muni d'une nouvelle forme de rugosité artificielle, Revue des Energies Renouvelables, Vol 12, n° 4, p 551-561. (2009).
- [5]: U, Eiker. Solar technologies for buildings, John Wiley and Sons, England. (2001).
- [6] : J, Bernard. Energie solaire calculs et optimisation, Ellipse Edition Marketing. (2004).
- [7] : Nadjem Rabiha, Rendement d'un capteur solaire à simple vitrage et à double vitrage " étude et comparaison " thèse de magister en génie climatique, Univ.de Constantine(2004).
- [8] : Y. Jannot. Thermique solaire, Mars 2011.
- [9] : S.Brigand. « Installations solaires photovoltaïques ». Édition Moniteur. 2011.
- [10] : F. Benyelles, B. Benabadja, B.Benyoucef, Z.Ziani, « Comparaison entre un capteur à aérogel de silice et d'autres capteurs plans », 13emes Journées Internationales de Thermique (2007).
- [11] : J, Bernard. Energie solaire calculs et optimisation, Ellipse Edition Marketing. (2004).
- [12] : http://www.solairethermique.guidenr.fr/I_rendement-capteur-solaire_thermique_methode_francaise.php
- [13] : A, Sfeir ; G, Guarracino. Ingénierie des systèmes solaires, Technique et Documentation, Paris. (1981).
- [14] : D.Njomo, Etude théorique du comportement thermique d'un capteur solaire plan à air à couverture combinée plastique-vitre, Rev .Gén.Therm(Elsevier).Vol.37,(973-980),1998.

[15] : http://fr.solarpedia.net/wiki/index.php?title=Capteur_solaire_plan.

[16] : S.Youcef-Ali, Etude numérique et expérimentale des séchoirs solaires indirects à convection forcée : Application à la pomme de terre, thèse de doctorat, Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis, 2001.

[17] : Les séchoirs solaires : théorie et pratique ,Michel Dague net.

[18] : Houhou Hatem , « Etude Théorique Et Expérimentale Du Séchage Solaire De Certains Produits Agro-alimentaires », Mémoire De Magister En Génie Mécanique , Université De Biskra, p 9-35-39.

[19] : <https://www.google.com/search>.

[20] : Ben hamza Abderrahmane, « Simulation Numérique d'un capteur solaire plan utilisant des Matériaux à changement de phase », Université KASDI Merbah d' Ouargla, Belkhir ,Soutenu Publiquement , 31/05/2016,p. 5-21.

[21] : Mr S.BEKKOUCHE. Modélisation du Comportement Thermique de Quelques Dispositifs Solaires. Option « Electronique et Modélisation » . Thèse doctorat. l'universitéAbou-bakr- Belkaid – Tlemcen. (2008).

[22]: P. Wibulswas, 'Solar Thermal Processes in Thailand a Study on Forced Convection Hut .Drying', National Energy Administration Ministry of Science, Technology and Energy.

Résumé :

Le sud Algérien possède un grand et le plus important potentiel d'ensoleillement en Afrique, ce qui permet de prévoir des installations solaires à travers toute la région. En outre, la production agricole dans les Oasis et le grand sud présente plus que 40% de la production nationale, moins de 20% est consommée fraîche et presque 28 % stockée dans des chambres froides et le reste des 80%, 32%, est directement perdu et détruite à cause du manque des moyens de stockage et l'impossibilité de la commercialisation directe.... Etc

L'énergie solaire est gratuite, disponible durant toute l'année et surtout durant les périodes des récoltes, cette énergie offre, indirectement, une solution gratuite, renouvelable et propre pour le stockage des excès de production agricole, c'est le séchage solaire indirecte ou indirecte qui peuvent résoudre ces problèmes, c'est-à-dire de stocker les produits sous formes sèches.

Parmi les principaux et les plus importants composants d'un séchoir solaire on trouve le capteur solaire (CS), ce dernier prend plusieurs formes géométriques parmi lesquelles on a la forme plane. Le bon fonctionnement, du système de séchage, est le résultat direct de bonne conception et la minimisation maximale des pertes thermique du capteur. Comme le CS joue le rôle le plus importants, ça nous oblige de bien l'étudier théoriquement, pour bien choisir le type qui mieux adopter à l'opération du séchage.

ملخص :

يتمتع جنوب الجزائر بأكبر إمكانات أشعة الشمس في إفريقيا ، مما يجعل من الممكن توفير تركيبات الطاقة الشمسية في جميع أنحاء المنطقة. بالإضافة إلى ذلك ، يمثل الإنتاج الزراعي في الواحات وأقصى الجنوب أكثر من 40% من الإنتاج الوطني ، وأقل من 20% يتم استهلاكها طازجاً وحوالي 28% مخزنة في غرف التبريد والباقي 80% ، 32% ، تم تدميرها و ضياعها بشكل مباشر بسبب نقص وسائل التخزين واستحالة التسويق المباشر إلخ .

الطاقة الشمسية مجانية ، نظيفة و متوفرة خلال فترات الحصاد ، هذه الطاقة تقدم بشكل غير مباشر حلاً مجانيًا ونظيفًا لتخزين فائض الإنتاج الزراعي ، باستعمال مجفف شمسي مباشر او غير مباشر.

يعد المستشعر الشمسي (CS) من أهم مكونات المجفف الشمسي غير المباشر ، حيث يأخذ هذا الأخير عدة أشكال هندسية من بينها الشكل المستوي. التشغيل الصحيح لنظام التجفيف هو النتيجة المباشرة لتصميم الجيد والحد الأقصى من ضياع الطاقة الحرارية من المستشعر . نظرًا لأن المستشعر الشمسي يجمع الدور الأكثر أهمية ، فإننا يمزنا بدراسنا جيداً من الناحية النظرية ، الاختيار النوع الأفضل العتماده في عممية التجفيف .