



Université Mohamed Khider de Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Mécanique

MÉMOIRE DE MASTER

Domaine : Sciences et Techniques
Filière : Génie Mécanique
Spécialité : énergétique

Réf. : Entrez la référence du document

Présenté et soutenu par :
Trad Khedidja

Le :

Mise en équations des paramètres de la conversion thermique de l'énergie solaire

Jury :

Pr	Benchabane Adel	Université de Biskra	Président
Pr	Moummi Nouredine	Université de Biskra	Rapporteur
Pr	Moummi Abdelhafid	Université de Biskra	Examineur

Année universitaire : 2019 – 2020

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Remerciements

*Je remercie **ALLAH** de m'avoir donné le courage, la volonté et la patience de mener à terme ce présent travail.*

*J'exprime mes gratitude, mes reconnaissances et mes sincères remerciements à **Mr. Moummi Nouredine** pour m'avoir encadré tout le long de mon projet.*

Khedidja Trad

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail

A mes chers parents

A mes frères et mes sœurs

A toute ma famille

*A mon encadreur Mr **Moummi Noureddine***

A tous mes collègues et mes amis partout

A tous ceux qui ont sacrifié leur temps pour la science

*et à tous ceux qui utilisent la science
pour le bien*

et la prospérité de l'humanité.

Khedidja Trad

اهداء

الحمد لله الذي هداني الى نور العلم واطمأن اليّ سراج الفهم
وارشدني الى درب النجاح احمدك ربي حمدا يليق بجلالك
وعظيم سلطانتك اهدي ثمره هذا العمل المتواضع الى التي
الجنة تجسدت تحت قدميها الى التي كانت وستضل بسمتي
واملي في الحياة الى التي حضنتني دون ملل وراعتني دون
كلل الى من كانت الحافز الاساسي لاتمام هذا المشوار امي
"ليامنة" الى نور عيني وقودتي وكل شيء في الحياة الى
الذي يسعى دائما لرسم البهجة والسرور الى الذي تمنى لي
الافضل والتفوق طيلة مشواري الدراسي ابي "صلاح الدين"
الى من شاركوني اطوار حياتي اختاي "وصال وغفران"
واخوتي "لخضر محمد فارس وعبد الرحمان" الى من لها فضل
كبير عليّ صديقتي "سلطان نور الهدى" الى من اخذ بيدي
وساعدني لاتخطى العثرات التي صادفتني في هذا العمل
الدكتور "نوار عون" الذي لن انسى فضله الكبير الى جميع
زملائي وزميلاتي في قسم الهندسة الميكانيكية دفعة 2020
ولا انسى من لهم مكانة في قلبي عمتي وخالاتي وعلى راسهم
"لطفة" رحمها الله .

Table des matières

1. Remerciements.....	I
2.Dédicaces.....	II
3.Table des matières.....	III
4.Liste des figures.....	III
5.Liste des tableaux.....	XIII
6.Nomenclature.....	XIII

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Introduction générale.....	2
----------------------------	---

CHAPITRE N°I: ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1. Introduction.....	5
I.2. Etude bibliographique.....	5
I.3. Conclusion.....	16

CHAPITRE N°II :Système de conversion thermique de l'énergie solaire

II.1 Introduction:.....	18
II.2 Composants d'un capteur:.....	18
II.2.1L'absorbeur:.....	19
II.2.2Les fluides caloporteurs.....	19
II.2.3 La couverture transparente (vitrage).....	20
II.2.4 L'isolation thermique.....	21
II.2.5Le cadre.....	21
II.3 Les différents types des capteurs solaires :.....	22
II.3.1 Capteurs thermiques.....	22
II.3.1.1 Les capteurs plans non vitrés à revêtement sélectif.....	22
II.3.1.2 Les capteurs plans vitrés.....	23
II.3.1.3 Capteurs solaire Sous Vide.....	25
II.3.1.4 Capteurs à concentration.....	27
II.3.1.4.1Le concentrateurs paraboliques.....	27

II.3.1.4.2Le capteur cylindro-parabolique.....	28
II.3.2Capteur photovoltaïque.....	29
II.4 Le rayonnement solaire	30
II.5 conclusion.....	30

CHAPITRE N°III: Etude des paramètres de la conversion thermique

III.1 Introduction.....	33
III.2 paramètre extrinsèques	33
III.2.1 Rayonnement solaire	33
III.2.1.1 Rayonnement direct.....	33
III.2.1.2 Rayonnement diffus.....	34
III.2.1.3 Rayonnement global.....	34
III.2.2 modélisation du rayonnement solaire.....	34
III.2.2.1 Modèle de Capdero	34
III.2.2. 2 Modèle DE BRICHAMBAUT (plan horizontal).....	38
III.2.2.3 Modèle de Kasten.....	39
III.2.2.4.Modèle de LIU et JORDAN (plan incliné).....	40
III.2.2.5 Modele de R.Sun	42
III.2.2.6 Modèle d’EUFRAT.....	43
III.2.2.7 Davies & Hay	44
III.2.2.8 Modèle Temps-Coulson	45
III.2.2.9 Modèle de Gueymard	45
III.2.3 Les paramètres de position	46
III.2.3.1 Les coordonnées géographiques	46
III.2.3.2 Les coordonnées célestes horizontales.....	47
III.2.3.3 Les coordonnées célestes horaires	47
III.2.3.4 Les temps solaires.....	48
III.2.3.4.1 Le temps solaire vrai (T.S.V).....	48
III.2.3.4.2Le temps solaire moyen (T.S.M)	48
III.2.3.4.3 Le temps universel (T.U)	48
III.2.3.4.4 Le temps légal(TL)	49
III.2.4Durée d’enseillent d’un capteur (,).....	49
III.2.5 Durée du jour.....	50

III.2.6 Fraction d'insolation.....	50
III.2.7 Vitesse du vent	50
III.2.8 Flux incident	50
III.2.9 Modélisation de la température ambiante	51
III.3 paramètre intrinsèques	51
III.3.1 Les paramètres de position.....	51
III.3.1.1 L'orientation des capteurs.....	51
III.3.1.2 Angle d'incidence sur un plan	52
III.3.2 Calcul du débit massique de l'air	52
III.3.3 L'isolant	52
III.3.4 L'absorbeur.....	52
III.3.5 la différence de température entre le fluide et l'air ambiant.....	53
III.3.6 La température d'entrée.....	53
III.3.7 La température de sortie.....	54
III.4 conclusion.....	54

CHAPITRE N° IV: Influence des paramètres

IV.1 Introduction.....	56
IV .2 Influence de (RSD) Pour Ciel très clair.....	56
IV .3 Influence de la température d'entrée de l'air dans le capteur.....	57
IV .4 Influence de la température de sortie de l'air dans le capteur.....	58
IV .5 Influence de rayonnement solaire.....	59
IV .5.1 Modèle de Perrin de Brichambaut.....	59
IV .5.2 Modèle de Liu & Jordan.....	60
IV .5.3 Modèle de Kasten.....	61
IV .6 Comparaison de trois modèles (Liu & Jordan , Perrin de Brichambaut et kasten).....	62
IV .6.1 Rayonnement solaire diffuse.....	62
IV .6.2 Rayonnement solaire direct.....	62
IV .6.3 Rayonnement solaire global.....	63
IV .7 Conclusion.....	64

Conclusion générale.....	66
Référence bibliographiques.....	68
Résumé.....	73

Liste des figures

Chapitre I : Etude bibliographique

- Figure I-1** : Capteur avec des chicane rectangulaire sur la plaque inférieure.....6
- Figure I-2** : Evolution du rendement du capteur en fonction du débit volume de l'air
pour les deux configurations de capteurs (avec chicane et absorbeur sélectif).....7
- Figure I-3** : Variations du rendement instantané en fonction de la température réduite
 $T^* = (T_p - T_a) / I_g$ pour plusieurs types de capteurs solaires plans.....8
- Figure I-4** : Capteur solaire plan à air avec multi-passage lamellaires en métal.....9
- Figure I-5** : Comparaison de l'efficacité entre le capteur lamellaire en métal et le
type le plus commun.....10
- Figure I-6** : Vue schématique d'un capteur à air à couverture combinée plastique-
vitre.....11
- Figure I-7** : Influence de la hauteur du canal d'écoulement sur les variations horaires
de la température de sortie du fluide caloporteur, (b) : Influence de la hauteur du canal
d'écoulement sur rendement thermique.....11
- Figure I-8** : capteur solaire à air12
- Figure I-9** : schémas représentatif de capteur étudié (écoulement contre courant).....13

Figure I-10 : Schéma représentatif des différents coefficients de transfert.....	14
Figure I-11 : Capteur solaire plan à air muni de rugosité cylindrique.....	14
Figure I-12 : Différents arrangement des chicane cylindriques.....	15
Figure I-13 : Schéma du modèle expérimental.....	16

Chapitre II : Système de conversion thermique de l'énergie solaire

Figure II-14 : Composants de capteurs d'un capteur solaire.....	19
Figure II-15 : Capteurs solaires sans vitrage.....	22
Figure II-16 : principe de fonctionnement de capteur solaire non vitré à revêtement sélectif.....	23
Figure II-17 : Capteur plan vitré.....	24
Figure II-18 : Principe de fonctionnement des capteurs plans vitrés.....	24
Figure II-19 : Capteurs solaires à tubes sous vide.....	26
Figure II-20 : Principe de fonctionnement des capteurs à tubes sous vide.....	26
Figure II-21 : Capteur à concentration.....	27
Figure II-22 : Capteur parabolique.....	28
Figure II-23 : Ferme de capteur cylindro-paraboliques.....	29

Figure II-24 : Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque.....29

Figure II-25 : Les composants du rayonnement solaire.....30

Chapitre IV : Influence des paramètres

Figure IV- 1: La distribution de rayonnement solaire direct dans les conditions pour un ciel très clair.....56

Figure IV .2:La variation de température d'entrée à capteur solaire.....57

Figure IV .3 : La variation de température d'entrée à capteur solaire.....58

Figure IV.4 : La variation de température de sortie à capteur solaire.....59

Figure IV.5 : Rayonnement global, diffus et direct (simulation) du17 janvier - Modèle de Perrin de Brichambaut.....60

Figure IV.6 : Rayonnement global, diffus et direct (simulation) du17 janvier – Modèle de Liu & Jordan.....61

Figure IV.7 : Rayonnement global, diffus et direct (simulation) du17 juin- Modèle de Kasten61

Figure IV.8 : Rayonnement solaire diffuse de 3 modèles.....62

Figure IV.9 : Rayonnement solaire direct de 3 modèles.....63

Figure IV.10 : Rayonnement solaire global de 3 modèles.....64

Liste des tableaux

Chapitre I : Etude bibliographique

Tableau. (I-1) : Comparaison entre surface sélective et surface non sélective d'un capteur solaire.....8

Chapitre III : Etude des paramètres de la conversion thermique

Tableau (III-2) : Paramètres décrivant l'état de l'atmosphère.....39

Tableau (III-3) : Valeurs du coefficient d'angström et de la hauteur d'eau condensable pour trois états atmosphériques40

Tableau (III -4) : Les moyennes journalières mensuelles des températures.....52

Nomenclature

I : Eclairement direct par ciel clair (W/m²).

D : Eclairement diffus incident (W/m²).

G : Eclairement global horizontal (W/m²).

T1 : Facteur de trouble dû à l'absorption gazeuse.

T1 : Coefficient de trouble correspondant à l'absorption par les gaz de l'atmosphère.

T2 : Facteur de trouble relatif à la diffusion par les aérosols couplés à une légère absorption.

Z : Altitude du lieu (Km).

TL : Facteur de trouble atmosphérique de Linke.

ρ_a, ρ_g, a^*, alb : Albédo du sol.

δ_i : Eclairement diffus rétrodiffusé.

TSM : Temps solaire moyen (heure).

TSV : Temps solaire vrai (heure).

TU : Temps universel (heure).

δ : Déclinaison (°)

δ_{ciel} : Rayonnement diffus du ciel (W/m²).

δ_d : Composante directe (W/m²).

δ_h : Composante du cercle de l'horizon (W/m²).

δ_{iso} : Composante isotrope (W/m²).

δ_{sol} : Eclairement diffus du sol (W/m²).

δ_{hor} : La composante du cercle de l'horizon.

DH: Eclairement diffus reçu par une surface horizontale (W/m²).

GH: Eclairement global reçu par une surface horizontale (W/m²).

a, b : Constantes.

A, B, A', A'', B'' : Constantes qui dépendent de l'état de l'atmosphère.

I0 : Constante solaire (W/m²).

τ : Coefficient de transmission, après Diffusion moléculaire de Rayleigh.

τ_g : Coefficient de transmission, après Diffusion par les gaz.

τ_w : Coefficient de transmission, après absorption par la vapeur d'eau.

τ_a : Coefficient de transmission, après Diffusion par les aérosols.

τ_0 : Coefficient de transmission, après absorption par l'ozone.

α_w est le coefficient d'absorption par la vapeur d'eau.

h : Hauteur du soleil (degré).

m_a : Masse de l'air optique.

m_r : Masse d'air optique relative.

θ_z : Distance zénithale.

$\square i$: Angle d'incidence.

L_3 : Epaisseur de la couche d'ozone réduite (cm).

W : est la hauteur d'eau condensable.

\varnothing_r : Humidité relative.

P_s : Pression partielle de la vapeur d'eau dans l'air saturé.

I_{0h} : Eclairement solaire extraterrestre sur un plan horizontal.

F_c : Le facteur de diffusion directionnelle provoquée par les aérosols.

R_b : Le facteur d'inclinaison.

F_d : La fonction de l'altitude solaire est donnée par l'expression.

AM : La trajectoire du soleil.

$\square \square \square$ La latitude (degrés).

β : La pente de la surface à l'horizontale (degré).

δ : La déclinaison de la journée (degré) .

ω :L'angle horaire (degré).

r_{d0}, r_{d1} :Les distributions normalisés du rayonnement.

λ :La longitude.

a : L'azimut.

d : La déclinaison.

ω : L'angle horaire.

d : La déclinaison.

ET : équation du temps.

J : Le numéro du jour de l'année.

L : La longitude.

D_{IS} :La durée d'ensoleillement d'un capteur.

d_j :La durée du jour .

σ : La fraction d'insolation .

V : La vitesse du vent (m.s-1).

φsa : Flux (i.s)*: Eclairement (densité de flux) solaire incident sur le capteur (**W.m-2**).

αps : Coefficient d'absorption de la paroi absorbante par rapport au rayonnement solaire.

τcs : Coefficient de transmission de la couverture transparente par rapport au rayonnement solaire.

S : Surface de la paroi absorbante (m2) solaire absorbé par la surface exposée (**W**).

T_a : La Température ambiante.

T_{max} et T_{min} : Températures ambiantes maximale et minimale au cours de la journée (°C).

i : L'angle d'incidence.

\dot{m} : **Le débit massique [Kg/s]**.

c_p : chaleur spécifique de l'eau.

T_{fs} : température de sortie du fluide.

T_{fe} : **température d'entrée du fluide.**

A_c : surface du capteur solaire.

G : flux de chaleur global incident

P_{ab} : la puissance solaire arrivant sur le capteur.

P_u : la puissance utile récupérée par le fluide caloporteur.

α_{ab} : **absorptivité de l'absorbeur.**

- τ_v : Transmissivité de la vitre.

- A_{ab} : **Surface de l'absorbeur.**

T_e : La température d'entrée.

T_s : La température de sortie.

P_0 : pression standard au niveau de la mer (Pas).

INTRODUCTION
GÉNÉRALE

Introduction générale

En Algérie, le rayonnement global reçu dans différents sites avec ou sans altitudes, de climats méditerranéens ou sahariens, est l'un des plus élevés du monde. En plus ces régions bénéficient des qualités exceptionnelles pour valoriser l'énergie solaire sous les formes les plus variées. D'un autre côté, Il est intéressant d'envisager toutes les possibilités considérables pour l'exploitation de cette source solaire pour des utilisations industrielles.

L'énergie solaire occupe une place très importante parmi les différentes sources d'énergies renouvelables. Un effort accru existe depuis ces dernières décennies pour développer l'utilisation directe de cette forme d'énergie afin de la transformer en chaleur, en électricité ou en une forme d'énergie chimique plus facilement stockable. Le soleil décharge continuellement une énorme quantité d'énergie radiante dans l'espace. Une moyenne de 1367 Watts atteint chaque mètre carré du bord externe de l'atmosphère terrestre. La part d'énergie reçue sur la surface de la terre dépend de l'épaisseur de l'atmosphère à traverser [1].

Une connaissance précise de la distribution de l'irradiation solaire sur un site géographique particulier est d'une grande importance pour le développement des systèmes photo thermiques ou photovoltaïques, Le manque de moyens de mesure et le non disponibilité de stations météorologiques à grande échelle, représentent des difficultés qui ont permis aux chercheurs d'établir des méthodes d'estimation du rayonnement solaire en se basant sur les données Météorologiques.

Les capteurs solaires thermiques sont généralement considérés comme un moyen énergétiquement efficace pour récupérer l'énergie émise par le soleil. Un large spectre d'application en découle : production d'eau chaude sanitaire, production de chaleur en masse pour l'industrie, désaliénation d'eau de mer ou encore production de thermoélectricité.

Un des éléments clefs dans le développement de ces différentes technologies est la qualité de la couche noire de l'absorbeur solaire qui doit capter un maximum d'énergie incidente sans en réémettre sous forme infrarouge (sélectivité). Toutes ces considérations font que nous avons mené cette étude qui a pour objectif principale la mise à disposition des utilisateurs de l'énergie solaire, tous les moyens disponibles permettant d'évaluer ses paramètres de conversion afin et de pouvoir utiliser les plus performants.

Cette étude comporte les chapitres suivants :

Le premier chapitre comporte une étude bibliographique. C'est une revue générale de quelques travaux effectués en relation avec la présente thématique.

Le deuxième chapitre comporte une étude des différents systèmes et technologies de la conversion thermique de l'énergie solaire.

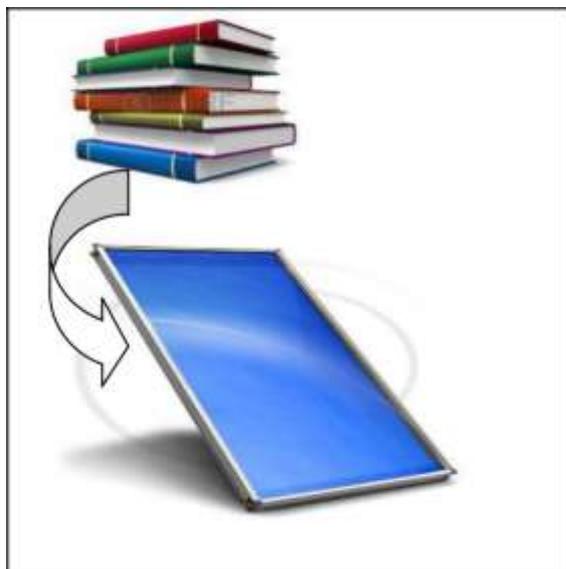
Le troisième chapitre est comporte une étude des paramètres de la conversion thermique. Ceux qui affectent le fonctionnement de ces capteurs. Ils sont de deux types : 'internes et externe.

Le dernier chapitre est consacré à la simulation de l'influence de certains paramètres, ceux qui ont des effets prépondérants : l'effet du rayonnement incident et de la température d'entrée.

Enfin une conclusion générale.

CHAPITRE I

Etude bibliographique.



Résumé

Nous présentons dans ce chapitre une revue bibliographique sur les différents travaux antérieurs concernant les capteurs solaires plans à air à simple et double passe, sans et avec chicane. Où, la littérature est très riche dans ce domaine, qu'elles soient numériques ou expérimentales.

I.1 Introduction :

Ce chapitre présente quelques travaux dans le domaine de la conversion thermique de l'énergie solaire.

I.2 Analyse bibliographique :

Plusieurs types de capteurs à air ont été construits et testés à travers le monde. L'objectif principal étant de collecter le maximum d'énergie solaire à un coût minimum. Pour atteindre cet objectif, des grandes voies sont aujourd'hui explorées.

Nous exposons quelques travaux disponibles dans la littérature qui traitent le côté thermique en générale effectuées sur les capteurs solaires plans à air.

Parmi les travaux de recherches qui ont été entamées dans cette perspective, le travail effectué par **N.Moumni et al. [1]**.

Leur travail s'est intéressé aux capteurs plans à air avec des chicanes rectangulaires placées perpendiculairement sur le plan d'écoulement dans la veine fluide mobile du conduit, ce qui a permis de produire au sein de la lame d'air un courant plus turbulent entre l'absorbeur et la plaque

arrière, ce qui a abouti à une amélioration du rendement de ces capteurs solaires et le coefficient du transfert.

Les résultats ont été comparés avec ceux obtenus avec un capteur solaire sans chicane comme présenté sur la **Figure. (I-1)**. Où, deux types d'absorbeurs sélectifs et non sélectifs en aluminium peint en noir ont été utilisés.

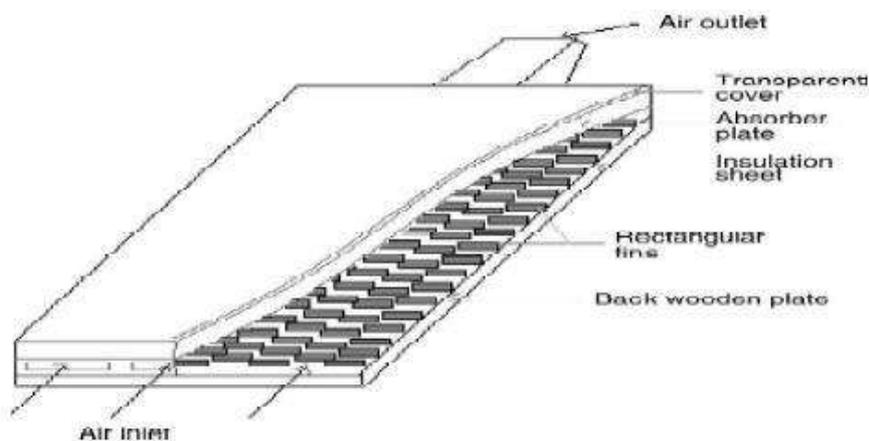


Figure. (I-1) : Capteur avec des chicanes rectangulaire sur la plaque inférieure [1].

L'évolution des profils de la température de l'air et de la plaque de l'absorbeur en présence des chicanes rectangulaires, montre que les valeurs enregistrées sont satisfaisantes par suite d'addition de plusieurs rangées de chicanes, ce qui a permis d'augmenter sensiblement la qualité du transfert de la chaleur, ces même résultats obtenus sont comparées à ceux enregistrés avec un capteur muni d'un absorbeur sélectif, ou il ne représente pas d'améliorations remarquables par rapport à celui en présence de chicanes **Figure. (I-2)**. Par conséquent les pertes thermiques sont considérables, alors que si l'absorbeur est sélectif, les pertes sont relativement réduites et la différence des coefficients d'émission est dédommée par la présence des chicanes qui refroidissent l'absorbeur. Elle donne aussi une approche approximative sur le calcul du coefficient de transfert convectif dans le conduit utile de l'écoulement de l'air.

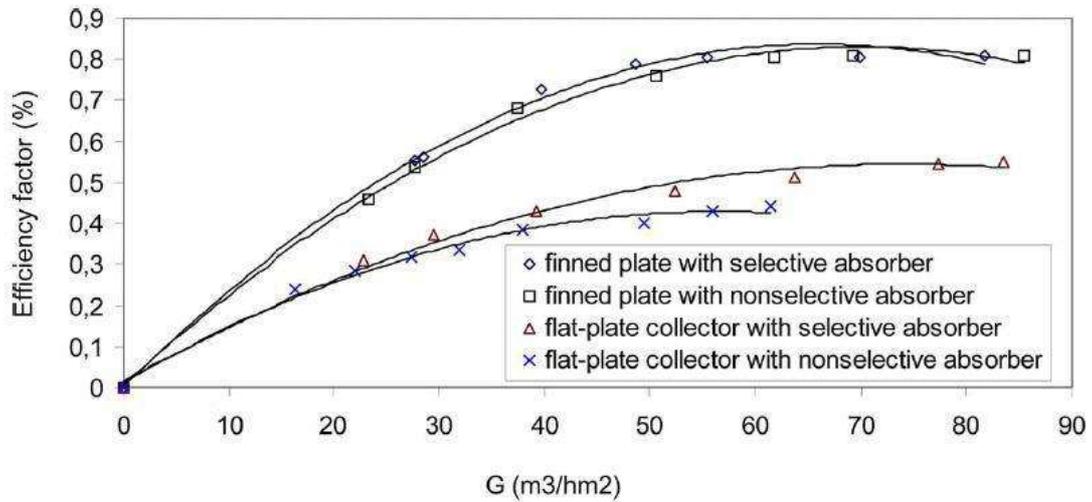


Figure. (I-2) :Evolution du rendement du capteur en fonction du débit volume de l'air pour les deux configurations de capteurs (avec chicane et absorbeur sélectif)[1].

O. V. Ekechukwu et B. Norton [2] ont étudiés plusieurs configurations des capteurs solaires à air (capteur sans vitrage, simple vitrage, double et triple vitrage) dans les applications du séchage de la récolte. Ils ont montrés que les capteurs solaires à air de simple vitrage sont plus efficaces que ceux avec un double ou à triple vitrage, le premier type (à simple vitrage) est donc le plus approprié pour les applications du séchage par voie de l'énergie solaire.

Les capteurs solaires à air à double ou à triple vitrage peuvent être utilisés pour réduire les pertes de la chaleur convectives et radiative, en effet l'utilisation des couvertures multiples à double ou à triple vitrage joue un rôle important dans l'isolation contre les déperditions thermiques par l'avant. Puisque l'élévation de la température ambiante exige une grande isolation, ce qui est le cas des capteurs sans vitrage ou à simple vitrage, à cause des pertes de la chaleur considérables dans ces deux cas (capteurs sans couvertures ou à simple vitrage).

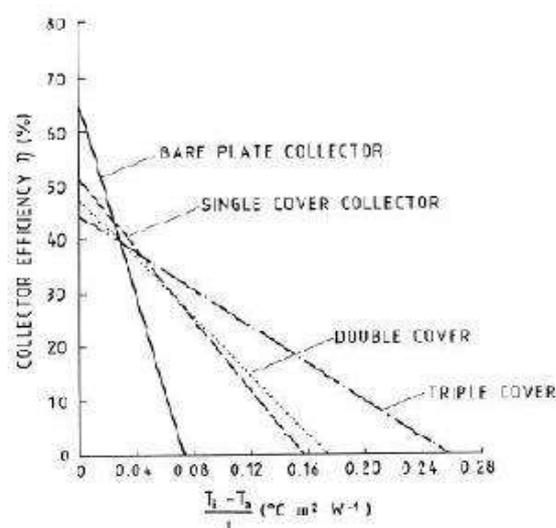


Figure. (I-3) : Variations du rendement instantané en fonction de la température réduite $T^* = (T_p - T_a) / I_g$ pour plusieurs types de capteurs solaires plans[2].

Une étude concernant les revêtements sélectifs, a été aussi effectuée par **J.Wileyet I.michaelides** [3] qui ont montrés que l'application des revêtements sélectifs augmente l'efficacité du capteur solaire plan lorsque la température de sa surface absorbante atteint 60° à 70°C. Pour des températures plus basses, il vaut mieux utiliser des surfaces noires, et réduire les pertes de la chaleur convectives et radiative

Tableau (I-1).

Paramètre	Surface sélective	Surface non sélective
$h_{r,p-v}$	0.72 W m ⁻² K ⁻¹	6.08 W m ⁻² K ⁻¹
$h_{c,p-v}$	3.4 W m ⁻² K ⁻¹	3.2 W m ⁻² K ⁻¹
$h_{r,v-a}$	11.88 W m ⁻² K ⁻¹	8.3 W m ⁻² K ⁻¹
$h_{c,v-a}$	14.9 W m ⁻² K ⁻¹	14.9 W m ⁻² K ⁻¹
T_v	18.0°C	27.1°C
U_{av}	3.56 W m ⁻² K ⁻¹	6.64 W m ⁻² K ⁻¹

Tableau.(I-1) : comparaison entre surface sélective et surface non sélective d'un capteur solaire.

Pour combler les faibles propriétés thermophysiques de l'air utilisé comme un fluide caloporteur, et en vue de réaliser un transfert de la chaleur intensif, les capteurs solaires plans à air fonctionnent en régime turbulent. Cela augmente le transfert de chaleur entre la plaque absorbante et le fluide, qui permet d'obtenir de nettes améliorations des performances thermiques des capteurs solaires plans à air.

H.D. Ammari[4], propose un modèle mathématique pour calculer la performance thermique d'un capteur solaire plan à air à un seul passage d'air. Les canaux de l'air sont formés par de plusieurs passages de lamelles en métal, qui communiquent entre eux tout le long du passage de l'air, ceci est dans le but d'améliorer l'efficacité thermique du capteur solaire à air (**Figure.(I-4)**).

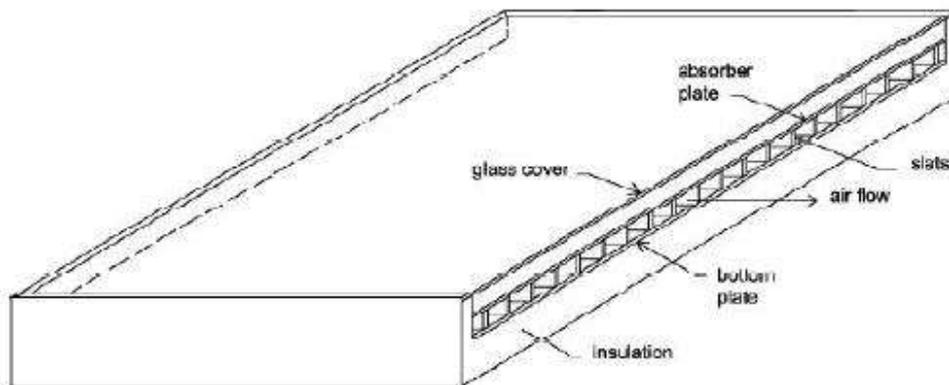


Figure. (I-4) : capteur solaire plan à air avec multi-passage lamellaires en métal[4].

Le modèle mathématique proposé, est développé pour mettre en évidence l'influence de l'addition des lamelles en métal sur l'efficacité du capteur solaire étudiée. Un code de calcul informatique développé qui emploie la méthode de solution à plusieurs itérations afin de résoudre les équations d'énergie gouvernantes pour estimer les températures moyennes du capteur. L'effet de débit volumique de l'air, la longueur du capteur, l'espacer entre l'absorbeur et la plaques inférieure sur les

performances thermiques de capteur solaire à air. En outre, une comparaison numérique a été entamée avec les modèles les plus communs. Les résultats de la comparaison ont indiqué que la meilleure performance thermique a été obtenue par le système modifié **Figure.(I-5)**.

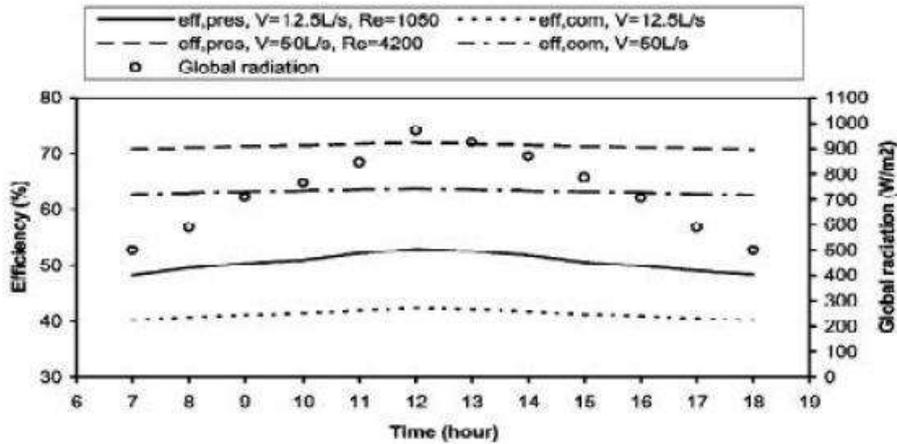


Figure. (I-5) : Comparaison de l'efficacité entre le capteur lamellaire en métal et le type le plus commun [4].

D. Njomo et al. [5] ont accomplis une étude très étendue, bien que les investigations sur un capteur solaire plan à air à couverture combinée plastique-vitre (**Figure.(I-6)**) avec une analyse de l'influence de divers paramètres, tels que la température d'entrée du fluide caloporteur, le débit massique de ce fluide et la distance entre l'absorbeur et le système combiné de couvertures, sur le comportement thermique du capteur.

Ils trouvaient que la température de sortie du fluide caloporteur, ainsi que le rendement thermique journalier du capteur, diminuent lorsque le débit d'air augmente, par contre la température de sortie du fluide caloporteur ne croît pas de manière significative avec l'augmentation de sa température d'entrée, car les pertes thermiques du capteur augmentent rapidement quand la température de l'air à l'entrée augmente, et le rendement thermique journalier du capteur décroît linéairement avec l'augmentation de la température d'entrée du fluide jusqu'à s'annuler.

Ils observaient aussi, que la température de sortie du fluide caloporteur, ainsi que le rendement thermique journalier du capteur, décroissent continuellement quand on augmente la hauteur du canal d'écoulement du fluide **Figure. (I-7)**.

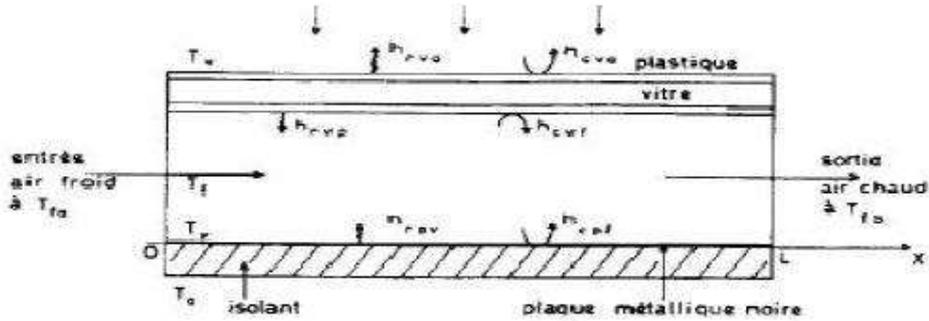


Figure. (I-6) : Vue schématique d'un capteur à air à couverture combinée plastique-vitre [5].

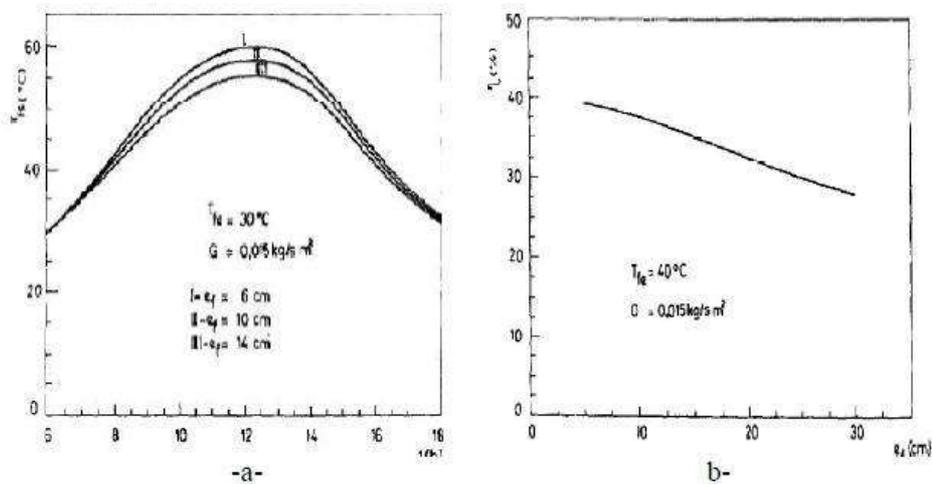


Figure. (I-7) :(a) : Influence de la hauteur du canal d'écoulement sur les variations horaires de la température de sortie du fluide caloporteur, (b) : Influence de la hauteur du canal d'écoulement sur rendement thermique[5].

Ho-Ming Yeh et Tong-Tshien Lin [6] ont étudié théoriquement et expérimentalement l'influence du rayonnement solaire capturé sur l'efficacité de capteur solaire. Ils ont trouvé que le taux du rayonnement solaire et la surface de contact entre l'absorbeur et le fluide caloporteur

accroît avec l'augmentation de la surface du capteur, mais aussi elle augmente le coefficient des pertes thermiques entre la couverture et l'extérieur.

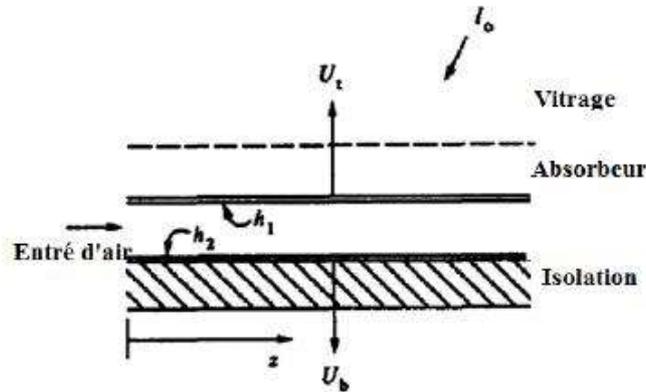


Figure.(I-8) :capteur solaire à air[6].

Le concept de capteurs solaires à air à double passage a été étudié pour la première fois par **Satcuna-Nathan et Deonarine**[7] et plus tard il a été considéré par **Caouris et al.**[7]. Ces chercheurs ont mené des expériences sur la conception des capteurs solaire à double passe double passe avec l'écoulement d'air dans deux canaux différents. Les pertes thermiques des couvercles peuvent être réduites en utilisant ses systèmes. Un modèle de transfert de chaleur a été développé et analysé par **Wijeysundera et al.** [7]. Les résultats ont été comparés avec le capteur solaire PV/T à une seule passe. Le rendement de collecteur a été analysé sur une gamme des conditions de conceptions et de fonctionnement. Les auteurs ont constaté aussi que la performance des systèmes de double passe était meilleure que la performance des systèmes simple passe. Ils ont également constaté que la température de la vitre extérieur était proche de la température ambiante par rapport au système d'une seule vitre la géométrie étudié est représenté sur la **Figure (I-9)**.

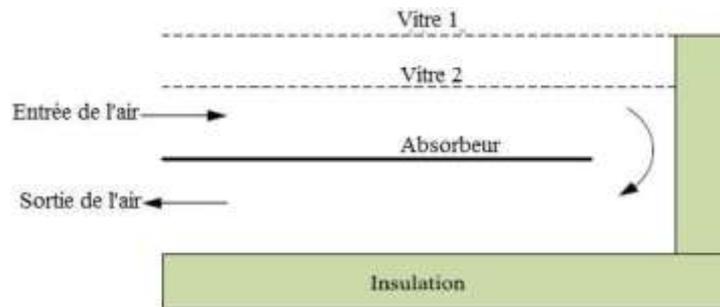


Figure.(I-9) :schémas représentatif de capteur étudié (écoulement contre courant)[7].

T.Letz [2] permettant de calculer le coefficient de transfert convectif en utilisant une corrélation valable pour un canal lisse et en la multipliant par un coefficient de correction constant, représentant l'amélioration de l'échange due à la présence de chicanes. Ce coefficient de correction est de 1,4 pour les conditions d'utilisations, c'est à dire, des inclinaisons du capteur allant de 20 à 60°, pour des débits d'air qui varient entre 50 et 110 m³/h.m² et pour des températures d'entrées qui varient entre 25 et 55°C). Avec ce coefficient, l'amélioration du coefficient de transfert est de 40%. La corrélation de Parker [100] valable pour un capteur sans chicanes donnée en fonction valeurs du nombre de Reynolds:

$$\begin{aligned} Nu &= 0.344 \cdot Re^{0.35} & 100 < Re < 2100 \\ Nu &= 1.68 \cdot 10^{-9} \cdot Re^{2.25} & 2100 < Re < 2850 \\ Nu &= 2.55 \cdot 10^{-3} \cdot Re^{1.04} & 2850 < Re < 5650 \\ Nu &= 19.8 \cdot 10^{-3} \cdot Re^{0.8} & 5650 < Re < 100.000 \end{aligned}$$

La corrélation de Kays permis le calcul du nombre de Nusselt à partir de la relation suivante:

$$Nu = 0.0158 \cdot Re^{0.8} \text{ pour } L/D_h > 10$$

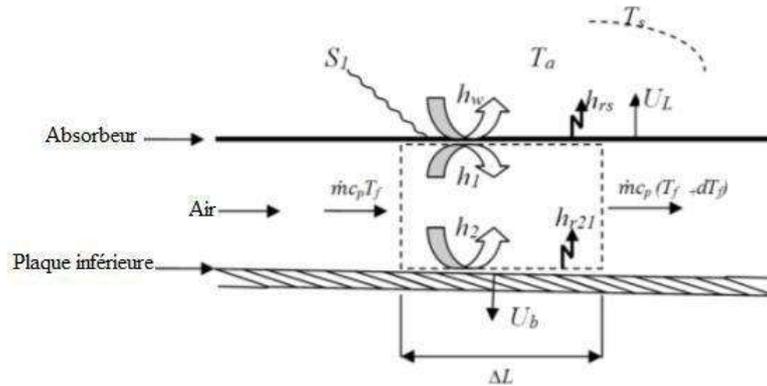


Figure. (I-10) :Schéma représentatif des différents coefficients de transfert[7].

K. Aoues et al.[8] ont mené un travail théorique en vue d'améliorer le coefficient de transfert convectif entre l'air et l'absorbeur. En plaçant des chicanes cylindriques perpendiculairement à l'écoulement dans la veine d'air dynamique entre l'absorbeur et l'isolant (Figure I-11).

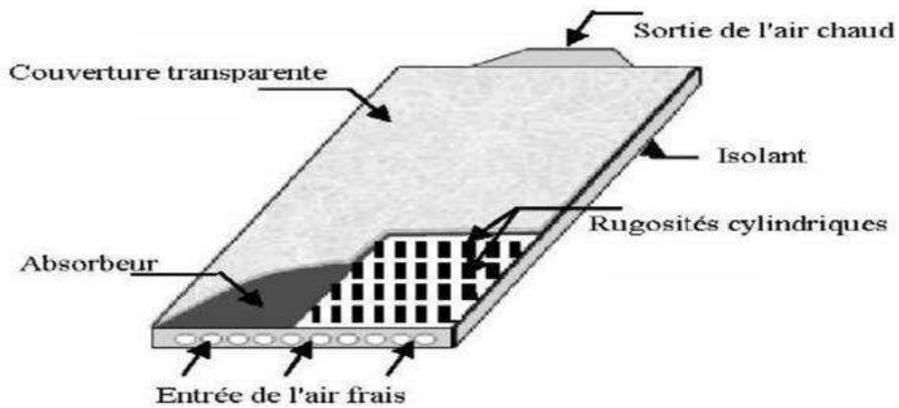


Figure.(I-11) :Capteur solaire plan à air muni de rugosité cylindrique[8].

Les auteurs ont étudié les trois cas suivants (Figure I-12):

- Le capteur plan à air dépourvu de chicanes.
- Le capteur plan à air muni de chicanes cylindriques arrangées en rangés alignées.

- Le capteur plan à air muni de chicane cylindriques arrangées en quinconces.
Les auteurs ont trouvé que le meilleur rendement est obtenu avec des chicane cylindriques arrangées en quinconce, et le plus bas pour le capteur lisse.

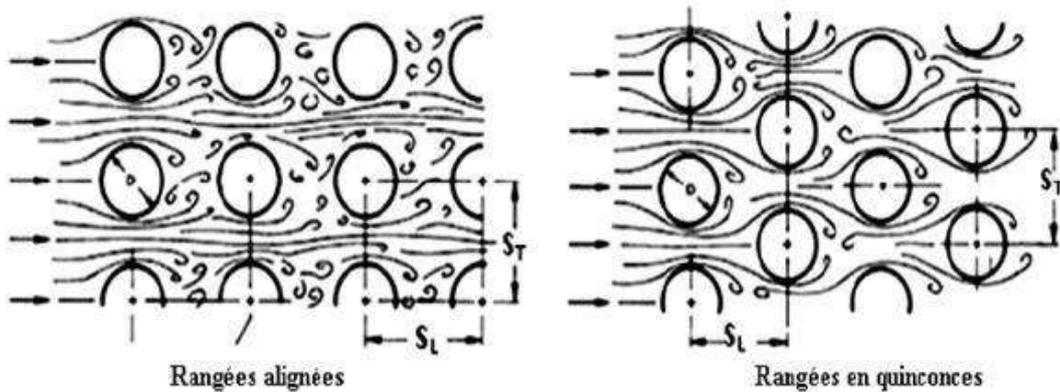


Figure. (I-12): Différents arrangement des chicane cylindriques [8].

A. Labed et Al [9] ont mené des travaux expérimental et théorique afin d'améliorer les performances du capteur solaire plan à air en introduisant un nouveau modèle de rugosité artificielle.

Le système étudié est un capteur solaire plan à air à simple passe composé d'une seule vitre, d'une plaque absorbante en acier galvanisé peinte en noir mat, d'une plaque arrière en acier galvanisé placé sur l'isolant et d'une isolation arrière. Les rugosités artificielles sont de petits canaux, dont la base est de forme trapézoïdale d'une hauteur de 25 mm, elles sont placées entre les deux plaques en acier galvanisé

(Figure I-13).

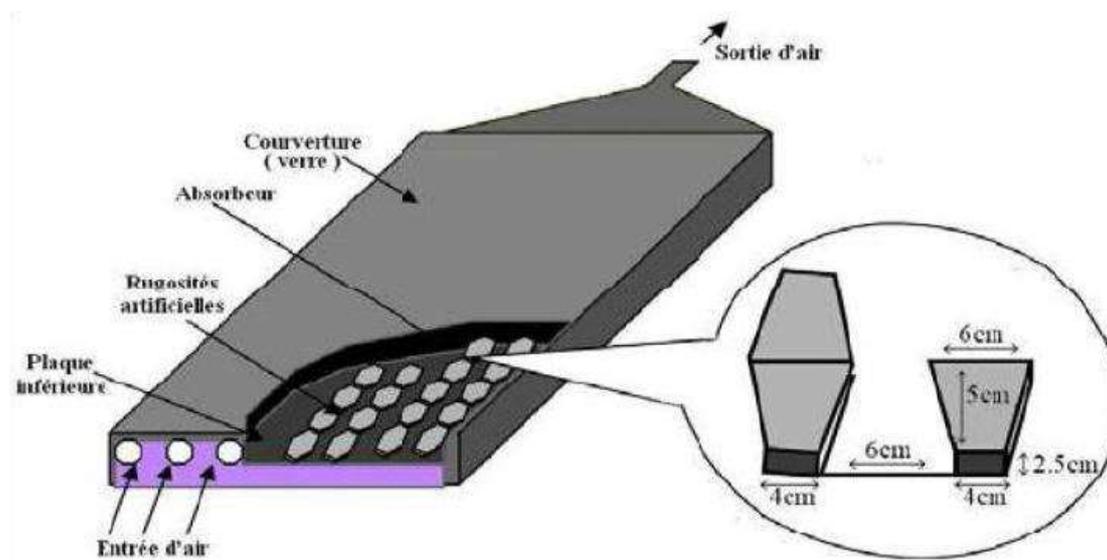


Figure.(I-13) : Schéma du modèle expérimental[6].

Les auteurs ont conclu que les chicanes introduites dans la veine d'air utile agissent favorablement sur le transfert thermique, cependant elles engendrent des pertes comparativement à un canal lisse. Les résultats théoriques sont validés par les résultats expérimentaux.

I.3 Conclusion :

A partir de cette étude bibliographique, on a remarqué que les précédents chercheurs ont réalisé beaucoup de recherches et d'études concernant les capteurs solaires à air, ils ont trouvés beaucoup de résultats qui permettent d'améliorer l'efficacité thermique et d'exploiter le maximum possible de la production énergétique de ces capteurs à partir de l'amélioration des différents paramètres ayant une influence sur l'efficacité thermique.

CHAPITRE II

*Systèmes de conversion thermique
de l'énergie solaire.*

**Résumé**

Dans ce chapitre, nous expliquerons les différents systèmes de conversion thermique de l'énergie solaire et le principe de fonctionnement. Premièrement, nous aborderons les composants, les types (plan, cylindrique, parabolique). Ensuite, nous présentons le principe de la conversion thermique et la technologie.

II.1 Introduction:

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

II.2 Composants d'un capteur:

Un capteur solaire est généralement composé d'un coffre, d'un vitrage, d'une isolation, d'un absorbeur et de tubes permettant le passage du fluide caloporteur, **Figure. (II-14)[10]**.

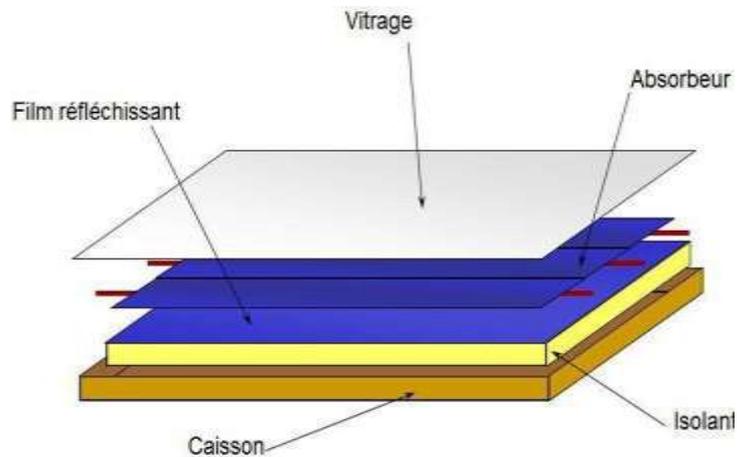


Figure. (II -14): Composants de capteurs d'un capteur solaire[10].

II.2.1L'absorbeur:

L'objectif de l'absorbeur est de convertir le rayonnement solaire en chaleur par transporté la chaleur au un fluide caloporteur. Il se compose d'une plaque métallique (cuivre, acier, aluminium.....) revêtue d'une peinture noire mate.

Ses principales qualités sont:

- Un facteur d'absorption aussi voisin que possible de l'unité.
- Un pouvoir émissif dans l'infrarouge aussi faible que possible.
- Une bonne conductivité thermique.
- Une faible inertie thermique[10].

II.2.2Les fluides caloporteurs:

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

- 1- Grande capacité calorifique.
- 2- Faible viscosité.
- 3- Coefficient de transfert thermique élevé.

4- Haute point de d'ébullition est bas point de congélation.

5- Degré d'agressivité faible devant les matériaux constituant le capteur.

Habituellement, les fluides caloporteurs les plus utilisés sont :



L'air:

L'air comme agent de transport de calories a un grand avantage par son abondance et sa gratuité, est par l'absence des problèmes de gel et de corrosion ce qui donne au capteur une grande durée de vie est moins de travaux d'entretien. Malheureusement, pour transporter une quantité raisonnable d'énergie il faut utiliser des volumes d'air très importants.



L'eau:

Un excellent fluide caloporteur grâce à sa chaleur massique, mais le risque de gel pendant les nuits d'hiver et le risque d'ébullition en cas haute température pose des problèmes. La naissance des couches de tartre dans les canalisations au fil de temps diminue la quantité de chaleur échanges.



Les gilotherms:

Des liquides organiques à base de poly phényles hydrogénés ou d'hydrocarbures linéaires traités pour ne pas présenter les mêmes défauts que l'eau, leur chaleur massique est 0,5Kcal/Kg.K. Ces hydrocarbures se détériorent en présence des traces d'eau ou d'air et combustibles à haute température [11].

II.2.3 La couverture transparente (vitrage) :

C'est la partie à travers laquelle le rayonnement atteint la surface de l'absorbeur. L'une de ses caractéristiques est de réaliser l'effet de serre. Les matériaux les plus utilisés sont :



Le verre.



Les polycarbonates.



Les polyméthacrylates de méthyle.

Concernant les verres, celui avec le plus faible taux d'oxyde de fer est préféré (verre horticole par exemple).Egalement, il existe des couvertures fabriquées en multicouches transparentes (doubles) et autres constituées par un film souple transparent tel que Mylar ou Tedlar. Parmi les fonctions de la couverture transparente on peut citer :

- La protection de l'absorbeur et l'isolation thermique.
- Fait partie de l'isolation thermique.
- Elle réfléchit le rayonnement au minimum et absorbe la lumière aussi peu possible de sorte que la totalité du rayonnement atteigne la surface de l'absorbeur[12].

II.2.4 L'isolation thermique:

Les matières isolantes utilisées dans la construction des capteurs solaires sont soit des laines minérales (laine de roche et laine de verre) soit des matières synthétiques. L'isolation doit être imputrescible et résister aux hautes températures à l'intérieur du capteur.

Une isolation de ce type est inutile dans le cas des capteurs à tubes évacués puisque c'est le vide d'air dans les tubes qui crée l'effet isolant [13].

II.2.5Le cadre:

Le cadre doit résister aux agressions des conditions extérieures, aux contraintes intérieures et aux chocs éventuels lors du transport et du montage. Il doit donc être solide, tout en étant le plus léger possible, i.e., en aluminium ou acier.

On note que le cadre des capteurs intégrés en toiture est protégé des intempéries et peut ainsi être valablement réalisé en bois[13].

II.3 Les différents types des capteurs solaires :

II.3.1 Capteurs thermiques:

C'est la transformation de l'irradiation solaire à une énergie thermique par le contact direct d'un fluide caloporteur avec une surface absorbante pour l'utilisation directe telle que le chauffage de l'eau sanitaire, le chauffage des habitations, le séchage et la distillation ; ou bien à une énergie mécanique pour produire de l'électricité ou tout simplement pour faire fonctionner un moteur à vapeur ou une pompe à chaleur[14].

II.3.1.1 Les capteurs plans non vitrés à revêtement sélectif:

Sont des capteurs simples adaptés aux basses températures et peu sensibles à l'angle d'incidence du rayonnement, ils peuvent être utilisés pour le chauffage des piscines et le chauffage de l'eau chaude sanitaire, **Figure. (II-15)**[6].



Figure. (II-15): Capteurs solaires sans vitrage[6].

Le principe de fonctionnement est présenté sur **la Figure. (II-16)** :

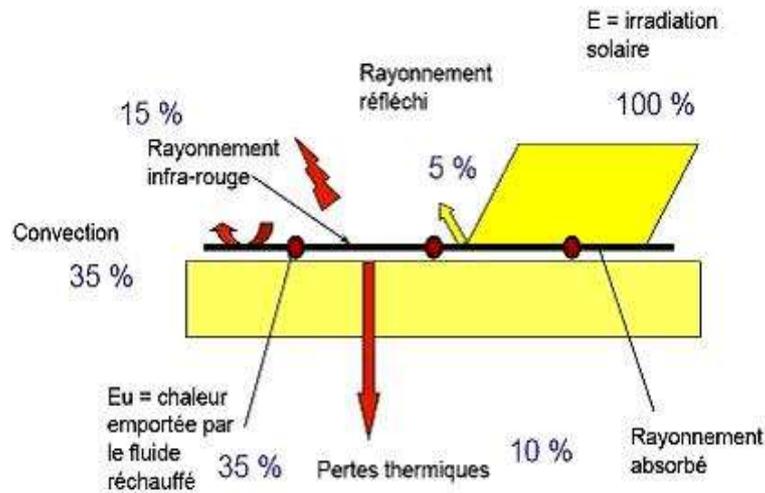


Figure (II-16): Principe de fonctionnement de capteur solaire non vitré à revêtement sélectif [15].

Avec :

- E = irradiation solaire 100%.
- Transfert par convection 35%.
- Rayonnement réfléchi 5%
- E_u =chaleur emportée par le fluide réchauffé 35%.
- Rayonnement infra-rouge 15%.
- Pertes thermiques 10% [15].

II.3.1.2 Les capteurs plans vitrés:

Ce sont des systèmes destinés à générer de l'air chaud pour le séchage ou la production de l'eau chaude sanitaire (La température de sortie peut atteindre jusqu'à 100°C [15]). Ils sont constitués d'éléments plans montés en parallèle. Sa couverture transparente plane souvent en verre reçoit le maximum de rayonnement qu'il transmet partiellement à l'absorbeur qui est en tôle peinte en noir pour absorber le maximum de rayonnement solaire. Les faces latérales et arrière sont isolées comme l'indique sur la **Figure. (II -17)** [16].

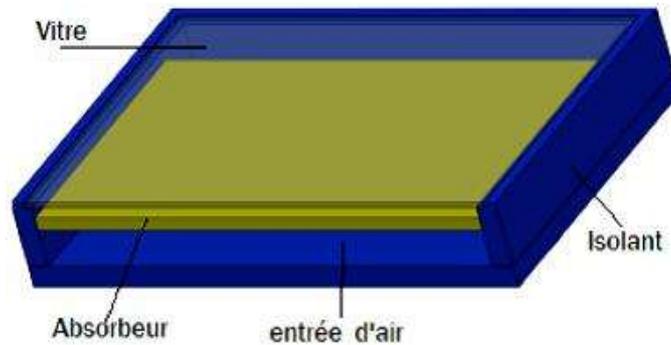


Figure. (II -17) : Capteurs plan vitré [16].

Le principe de fonctionnement d'un capteur solaire plan est très simple (**Figure II-23**), où le rayonnement solaire traverse la vitre et arrive sur l'absorbeur muni d'une surface sélective où il est converti en chaleur à sa surface. Le fluide caloporteur qui circule dans l'absorbeur conduit la chaleur captée vers un échangeur de chaleur, à partir duquel elle est transmise au consommateur.

L'isolation thermique au-dessous et autour du capteur diminue les déperditions thermiques et augmente ainsi le rendement [17].

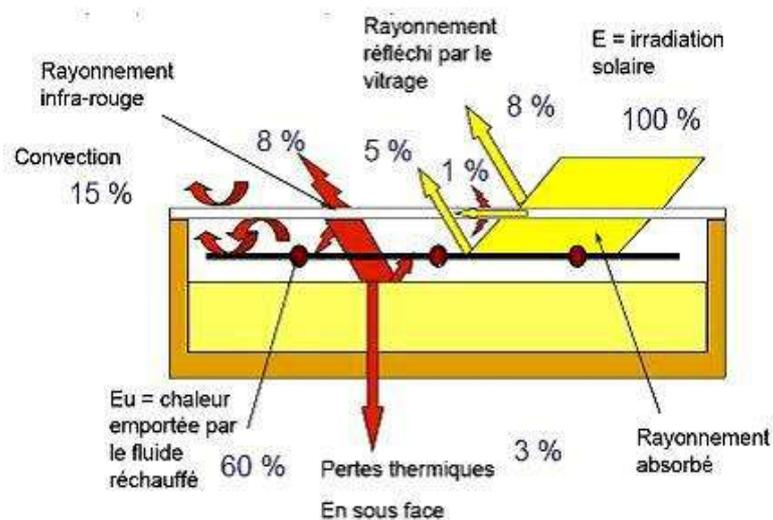


Figure. (II-18): Principe de fonctionnement des capteurs plans vitrés [15].

Avec :

-E= irradiation solaire 100%

-Rayonnement infra-rouge 15%

-Rayonnement réfléchi par le vitrage 8%

-Transfert par convection 15%

-Rayonnement absorbé par le vitrage 1%

-Eu=chaleur emportée par le fluide réchauffé 60%.

-Rayonnement réfléchi par l'absorbeur 5% -Pertes thermiques 3% [15].

II.3.1.3 Capteurs solaire sous vide:

Le capteur sous vide est composé de tubes de verre sous vide. Son fonctionnement est le même que pour les capteurs de type plan. Il y a un assemblage de tubes en verre indépendants. Le vide créé à l'intérieur des tubes limite les déperditions de chaleur. De ce fait, son rendement est très performant. La forme tubulaire capte l'énergie des rayons soleil plus longuement dans une journée qu'avec un capteur plan. Les températures atteintes sont très élevées, mais le coût du capteur sous vide est supérieur aux autres modèles de capteurs [18].

Ce type de capteur est constitué d'un ensemble de tubes en verre sous vide indépendants les uns des autres. Son principe de fonctionnement est le même que pour les capteurs de type plat mais avec une période de capture du rayonnement solaire plus longue.

Le vide créé à l'intérieur des tubes réduit les pertes de chaleur, ce qui donne au dispositif une plus grande efficacité.

Cependant, l'un des inconvénients de ce type de capteur est le coût élevé par rapport aux autres capteurs.

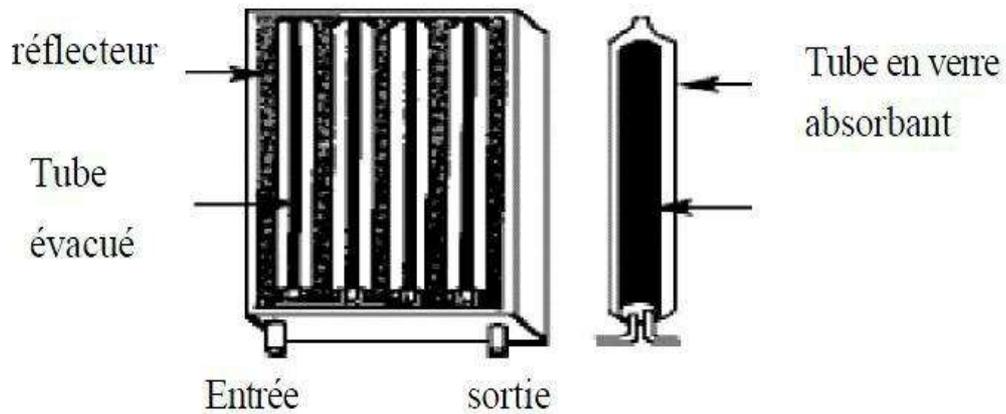


Figure. (II-19): Capteurs solaires à tubes sous vide[19].

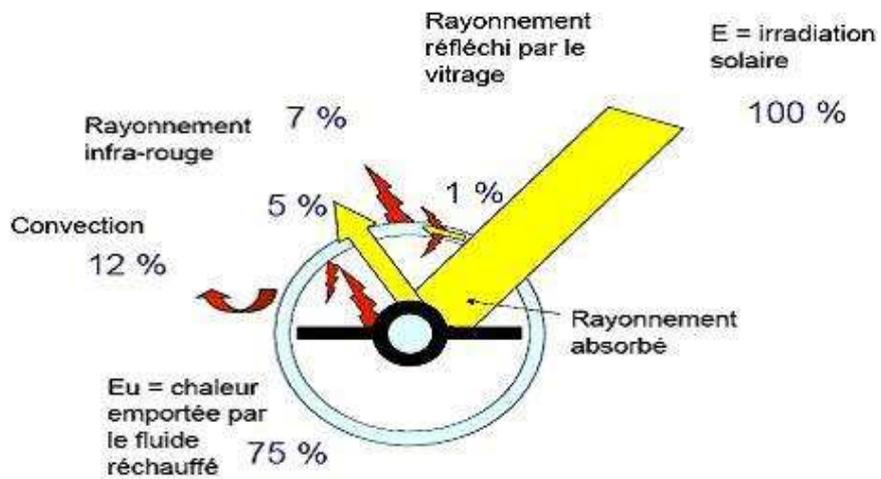


Figure. (II-20): Principe de fonctionnement des capteurs à tubes sous vide [15].

- E= irradiation solaire 100%.
- Rayonnement infra-rouge 5%.
- Rayonnement réfléchi par le vitrage 7%.
- Transfert par convection 12%.

-Rayonnement absorbé par le vitrage 1%.

-Eu=chaleur emportée par le fluide réchauffé 75% [15].

II.3.1.4. Capteurs à concentration :

Comme le montre la **Figure (II-21)**, un capteur solaire thermique à concentration est composé de:

- Un châssis, d'un isolant permettant de limiter les fuites thermiques en sous face et sur les bords.
- Un système de réflexion de la lumière.
- Un absorbeur.
- Un réseau de tubes en cuivre[20].

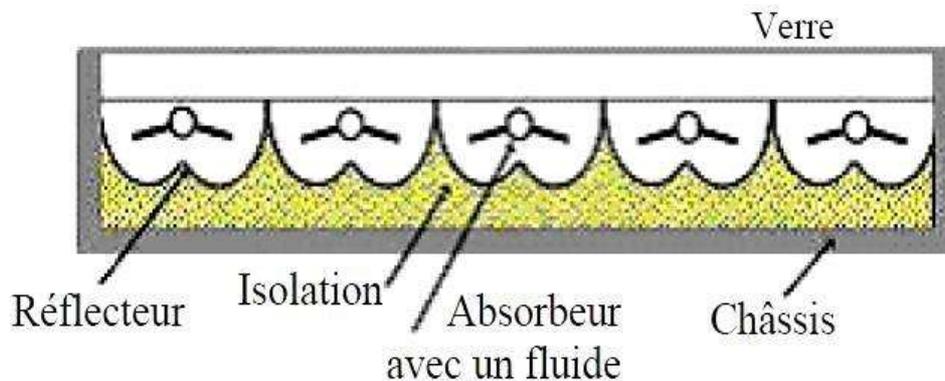


Figure. (II-21): Capteur à concentration[20].

Ci-dessous, les deux célèbres types de capteurs solaires à concentration ont été présentés:

II.3.1.4.1 Le concentrateurs paraboliques:

Les capteurs paraboliques (**Figure. II -26**) sont basés sur la propriété optique bien connue du paraboloïde. En effet, tout rayon incident orthogonal au plan directeur se réfléchit sur le paraboloïde en direction du point focal, qui peut ainsi collecter tout le flux de chaleur récolté par le paraboloïde (à nouveau, au rendement de réflexion près).

Le facteur de concentration est donc bien supérieur à celui d'un CCP (il peut atteindre 230). Ici, on place un moteur STIRLING au point focal, et non un absorbeur [21].



Figure (II -22): Capteur parabolique [21].

II.3.1.4.2 Le capteur cylindro-parabolique:

Ce type de centrale se compose d'alignements parallèles de longs miroirs hémicylindriques, qui tournent autour d'un axe horizontal pour suivre la course du soleil.

Les rayons solaires sont concentrés sur un tube horizontal, où circule un fluide caloporteur qui servira à transporter la chaleur vers la centrale elle-même. La température du fluide peut monter jusqu'à 500° C. Cette énergie est transférée à un circuit d'eau, la vapeur alors produite actionne une turbine qui produit de l'électricité [22].

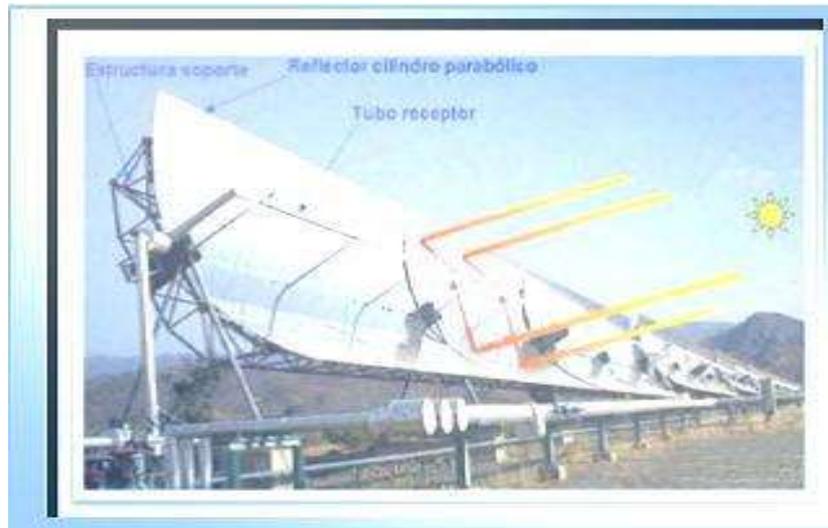


Figure (II-23): Ferme de capteur cylindro-paraboliques [22].

II.3.2 Capteur photovoltaïque:

La conversion photovoltaïque est la transformation directe du rayonnement solaire en énergie électrique ou thermique et sans l'intervention des équipements mécaniques. Où, pour générer l'énergie électrique, les cellules solaires absorbent les photons du rayonnement solaire et libèrent les charges électriques (les électrons et les trous) dans le matériau semi-conducteur [14].

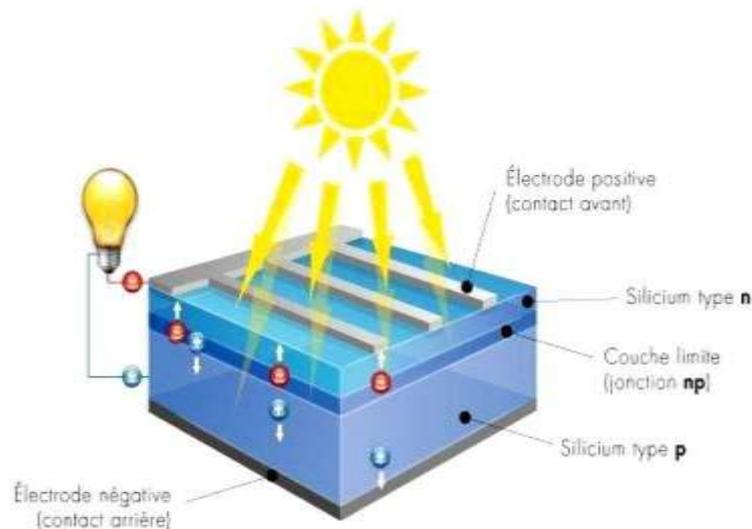


Figure (II-24) : Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque [23].

II.4 Le rayonnement solaire :

Le rayonnement solaire est un rayonnement thermique qui se propage sous la forme d'ondes électromagnétiques. Il produit à la lisière, mais en dehors de l'atmosphère terrestre, un éclairement énergétique à peu près constant et égal à 1367 w/m^2 , appelé de ce fait: constante solaire [24].

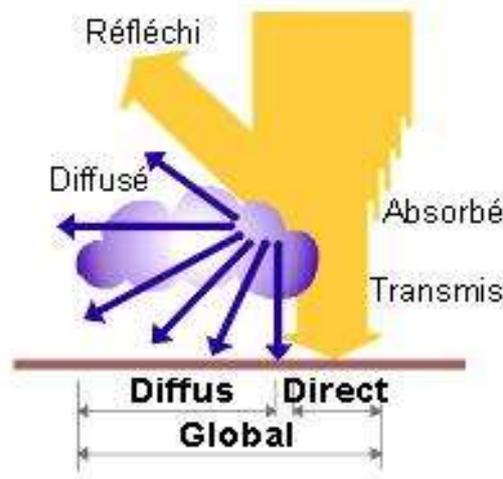


Figure. (II-25): Les composants du rayonnement solaire [25].

Le rayonnement solaire est caractérisé par les deux composants suivants:

- ✓ **Le rayonnement direct :** est la lumière parvenant directement du soleil par ciel clair.
- ✓ **Le rayonnement diffus:** est le rayonnement émis par des obstacles (nuages, sol, bâtiments) et provient de toutes les directions. La part du rayonnement diffus n'est pas négligeable et peut atteindre 50% du rayonnement global (selon la situation géographique du lieu). Le rayonnement global sur la terre et sa part de rayonnement diffus varie au cours de l'année [25].

La somme de ces deux composantes (direct et diffus) représente le rayonnement global [25].

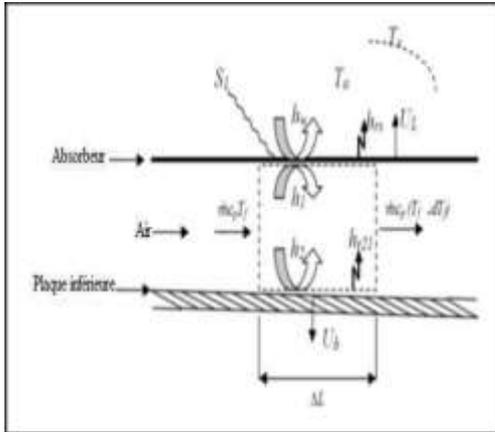
II.5 Conclusion :

Nous avons présenté dans ce chapitre une étude générale sur les capteurs solaire et tous qui dépendent de ses types, ses composantes, les principes de fonctionnement, les types de rayonnement, la conversion,

les différents types d'utilisation d'énergie solaire, le principe et technologie de conversion thermique, ...etc. Dans le chapitre suivant nous présentons la partie énergétique et les formules mathématiques liées aux phénomènes physiques qui génèrent dans ces capteurs.

CHAPITRE III

*Etude des paramètres de la
conversion thermique.*



Résumé

Dans ce dernier, nous présenterons presque tous les paramètres qui affectent les capteurs, que ce soit de l'intérieur ou de l'extérieur, ainsi que la manière dont les paramètres affectent les capteurs avec certaines équations qui leur sont présentées.

III.1 Introduction :

Plusieurs paramètres influent sur le fonctionnement d'un système solaire. Ces paramètres peuvent être d'environnement (température ambiante, vitesse du vent, rayonnement solaire, altitude...) ou bien des paramètres propres au système (inclinaison, fluide caloporteur, débit...).

III.2 Paramètre extrinsèques:

III.2.1 Rayonnement solaire[28]:

Le rayonnement direct reçu par une surface orientée en permanence vers le Soleil et qui reçoit donc le rayonnement solaire sous une incidence normale est désigné par **I**. Nous désignerons par

- **I** l'énergie reçue (**irradiation**) en $W.m^{-2}.durée^{-1}$ ou $kWh.m^{-2}.durée^{-1}$
- **I*** le flux reçu (**éclairage**) en $W.m^{-2}$

III.2.1.1 Rayonnement direct[26]:

On peut évaluer le rayonnement direct sur un plan perpendiculaire au rayonnement solaire par la relation:

$$I^* = 1370 \exp \left[-\frac{TL}{0.9+9.4 \sin(h)} \right] \tag{III.1}$$

III.2.1.2 Rayonnement diffus[26]:

L'éclairement solaire diffus D sur un plan horizontal peut être déterminé de plusieurs manières en fonction des données disponibles :

Par utilisation de la corrélation suivante :

$$D^* = 54.8\sqrt{\sin(h)} [TL - 0.5 - \sqrt{\sin(h)}] \quad (\text{III.2})$$

III.2.1.3 Rayonnement global[26] :est la somme du rayonnement direct et diffus

$$G = I + D \quad (\text{III.3})$$

III.2.2 Modélisation du rayonnement solaire:

III.2.2.1 Modèle de Capdero [27]:

Le modèle de Capderou utilise le trouble atmosphérique pour estimer les composantes directe et diffuse de l'éclairement reçu sur un plan incliné. L'absorption et la diffusion provoquées par les constituants de l'atmosphère sont représentées par des facteurs de troubles. A partir de ces facteurs, on peut formuler les éclairements direct et diffus par ciel clair.

Le facteur de trouble atmosphérique de linke représente le nombre d'atmosphères idéales qui, si elles étaient superposées, entraîneraient la même atténuation que l'atmosphère réelle. L'avantage du facteur de linke est d'exprimer les divers paramètres, tels que la vapeur d'eau atmosphérique et les aérosols en un seul indice facile à utiliser.

Capderou pour son modèle estime le facteur de trouble de linke en fonction des propriétés climatiques locales du site ainsi que de la hauteur du soleil. Il est représenté par la somme des trois facteurs de trouble auxiliaires.

$$T_L = T_1 + T_2 + T_3 \quad (\text{III.4})$$

Où,

- ✓ T_1 : est le trouble dû à l'absorption gazeuse tant par les constituants fixes de l'atmosphère que par l'ozone et surtout par la vapeur d'eau. Pour le calcul de ce facteur, Capderou a proposé l'expression suivante :

$$T_1 = 2.4 - 0.9 \cdot \sin(\varphi) + 0.1 \cdot (2 + \sin(\varphi)) \cdot Ah - 0.2 \cdot z - (1.22 + 0.14 \cdot Ah) \cdot (1 - \sin(h)) \quad (III.5)$$

Où,

h : Hauteur du soleil (en degré).

$$Ah = \sin\left(\left(\frac{360}{365}\right)(N_j - 121)\right) \quad (III.6)$$

- ✓ T_2 : est le trouble correspondant à l'absorption par les gaz de l'atmosphère (O_2 , CO_2 , O_3) et à la diffusion moléculaire de Rayleigh donné par :

$$T_2 = 0.89^z \quad (III.7)$$

z : est l'altitude.

- T_3 : est le trouble relatif à la diffusion par les aérosols couplés à une Alégère absorption, il dépend à la fois de la nature et de la quantité des aérosols contenue dans l'atmosphère. Il est obtenu par la relation suivante :

$$T_3 = (0.9 + 0.4 \cdot Ah) \cdot (0.63)^z \quad (III.8)$$

✓ **Eclairement global reçu sur un plan horizontal par ciel clair :**

Dans l'Atlas Solaire de l'Algérie (A.S.A), Capderou; selon la préface de C. Perrin de Brichambaut, présente un modèle mathématique pour estimer le rayonnement direct et diffus incident sur un plan horizontal.

Le rayonnement direct incident sur un plan horizontal par ciel clair, en fonction de la hauteur du soleil () et du facteur de trouble total de Linke(), est donné par la relation suivante :

$$SH = I_0 \cdot C_{t-s} \cdot \sin(h) \cdot \exp\left[-\frac{T_L}{0.9 + \frac{9.4}{(0.89)^2} \sin(h)}\right] \quad (III.9)$$

Où,

$$C_{t-s} = 1 + 0.033 \cdot \cos\left(\frac{360}{365} \cdot n_j\right) \quad (III.10)$$

C_{t-s} : La correction de distance terre-soleil.

I_0 : Le constant solaire égal 1367 w/m².

z : Altitude du lieu (km)

T_L : Facteur de trouble atmosphérique de Linke par ciel clair.

Pour estimer le rayonnement diffus, Capderou emploie le facteur de trouble diffusif ($T_L' = T_L - T_1$) et propose en 1987, l'expression fonction de la hauteur du soleil (h)

$$DH = C_{sj} \cdot \exp\{-1 + 1,06 \times \log(\sin(h)) + a - \sqrt{a^2 + b^2}\} \quad (III.11)$$

Avec,

$$a = 1.1 \text{ et } b = \log(T_L - T_1) - 2.8 + 1.02 \cdot [1 - \sin(h)]^2$$

L'éclairement global incident sur un plan horizontal GH est par conséquent la somme des deux rayonnements.

$$GH = SH + DH \quad (III.12)$$



Eclairement global reçu sur un plan incliné par ciel clair :

Capderou propose un modèle pour estimer les différentes composantes du rayonnement solaire incident sur un plan orienté d'un angle par rapport au sud et incliné d'angle par rapport à l'horizontale, dont l'éclairement dû au rayonnement global qui étant la somme des deux composantes directe et diffuse du rayonnement.

Pour cela il projette l'éclairement normal en utilisant l'angle d'incidence (i) donné par l'équation pour estimer le rayonnement direct à l'aide de l'équation suivante :

$$S_i = C_{sj} \cdot \exp\left[-\frac{T_L}{0.9 + \frac{9.4}{(0.89)^2} \sin(h)}\right] \cdot \cos(i) \quad (III.13)$$

Dans ce modèle l'éclairement diffus incident sur un plan incliné est composé de trois parties, il est donné par :

$$D_i = d_{ciel} + d_{sol} + \delta_i' \cdot \left(\frac{1 + \sin(\gamma)}{2}\right) \quad (III.14)$$

Où,

β : Inclinaison du plan

d_{ciel} : est l'éclairement diffus incident en provenance du ciel qu'on peut calculer avec la formule suivante :

$$d_{ciel} = \delta_{dir} \cdot \cos(i) + \delta_{iso} \cdot \frac{1 + \sin(\gamma)}{2} + \delta_{hor} \cdot \cos(\gamma) \quad (III.15)$$

Avec,

δ_{dir} : la composante directe ou circumsolaire

$$\delta_{dir} = C_{sj} \cdot \exp\{-2.48 + \sin(h) + a - \sqrt{a^2 + 4 \cdot b^2}\} \quad (III.16)$$

$$a = 3.1 - 0.4 \times b$$

$$b = \log(T_L - T_1) - 2.28 - 0.5 \cdot \log\{\sin(h)\}$$

δ_{iso} : la composante isotrope pour un ciel de luminance uniforme

$$\delta_{iso} = DH - \delta_{dir} \cdot \sin(h) \quad (III.17)$$

δ_{hor} : la composante du cercle de l'horizon

$$\delta_{hor} = I_0 \cdot \frac{-0.02 \cdot a}{a^2 + a \cdot b + 1.8} \cdot \exp\{\sin(h)\} \quad (III.18)$$

$$a = \log(T_L - T_1) - 3.1 - \log\{\sin(h)\}$$

$$b = \exp\{0.2 - 1.75 \cdot \log[\sin(h)]\}$$

d_{sol} : est l'éclairement diffus du sol, il est caractérisé par l'albédo du sol qui indique la réflexion de la lumière incidente, il est donné par :

$$d_{sol} = alb \cdot GH \cdot \frac{1 - \sin(\gamma)}{2} \quad (III.19)$$

alb : Albédo du sol.

δ_i : L'éclairement diffus rétrodiffusé, il correspond à l'éclairement diffusé à nouveau par le ciel vers le sol, il est donné par :

$$\delta_i = 0.9 \cdot (alb - 0.2) \cdot GH \cdot \exp\left(-\frac{4}{\sqrt{T_L - T_1}}\right) \quad (III.20)$$

L'éclairement global incident sur un plan
somme des deux rayonnements.

$$G_i = S_i + D_i \quad (\text{III.21})$$

III.2.2.2 Méthode de Perrin Brichambaut [28]:

Les différentes composantes du rayonnement solaire varient en fonction de la hauteur du soleil, de l'angle d'incidence, des intempéries et de l'état de visibilité de l'atmosphère. La modélisation théorique des éclairagements solaires est très compliquée. Perrin Brichambaut a présenté une méthode empirique pour l'estimation de l'énergie reçue par un capteur d'orientation quelconque.

- **Estimation de l'énergie instantanée (ciel clair):**

Pour un ciel clair, les éclairagements du rayonnement direct I, diffus D et global G reçus par un capteur sont donnés par les relations suivantes:

$$I = A \cdot \cos(i) \cdot \exp\left(-\frac{1}{B \cdot \sin(h+2)}\right) \quad (\text{III.22})$$

$$D = \left(\frac{1+\cos(\beta)}{2}\right) \cdot D_H + \left(\frac{1-\cos(\beta)}{2}\right) \cdot a^* \cdot G_H \quad (\text{III.23})$$

$$D_H = A' \cdot (\sin(h))^{0.4} \quad (\text{III.24})$$

$$G_H = A'' \cdot (\sin(h))^{B''} \quad (\text{III.25})$$

Avec:

$$G = I + D \quad (\text{III.26})$$

Où,

D_H : Eclairement diffus reçu par une surface horizontale, G_H : Eclairement global reçu par une surface horizontale, et a^* : Albédo du sol (coefficient de réflexion du sol).

$$a^* = \begin{cases} 0.9 \text{ à } 0.8 & \text{neige} \\ 0.8 \text{ à } 0.4 & \text{sol clair} \\ 0.4 \text{ à } 0.2 & \text{verdure} \end{cases}$$

Etat de l'atmosphère	A	B	A'	A''	B''
Ciel bleu foncé	1300	6	87	1150	1.15
Ciel bleu clair	1230	4	125	1080	1.22
Ciel bleu laiteux	1200	2.5	187	990	1.25

Tableau III.2 : Paramètres décrivant l'état de l'atmosphère[27].

III.2.2.3. Modèle de Kasten:[28]

D'après cette approche et pour une surface inclinée d'un angle (β) par rapport à l'horizontale et orientée d'un angle (γ) par rapport au sud, l'éclairement direct I est :donné par

$$I(\beta, \gamma) = I_1 (\sin(\beta) \cos(h) \cos(\alpha - \gamma) + \cos(\beta) \sin(h)) \tag{III.27}$$

Avec :

a : l'azimut

h : la hauteur angulaire

-Estimation de l'éclairement solaire I1:

Pour estimer l'éclairement solaire I1, Kasten propose l'expression ci-dessous. Cette dernière tient compte du facteur de trouble atmosphérique TL et du trajet optique atmosphérique mh

$$I_1 = (I_0)_{ext} \exp\left(-\frac{m_h \cdot T_L}{0.9m_h + 9.4}\right) \tag{III.28}$$

Avec :

$$(I_0)_{ext} = (I_0)_{ext} \left(1 - \frac{\sin(\delta)}{11.7}\right) \tag{III.29}$$

$$(I_0)_{ext} = 1353w/m^2 \tag{III.30}$$

$$T_L = 2.5 + 16\beta_A + 0.5 \ln(W)$$

β_A :le coefficient d'angström

w : la hauteur d'eau condensable

Le tableau suivant, présente les valeurs de β_A et w pour trois états atmosphériques différents :

Le tableau suivant, présente les valeurs de a et w pour trois états atmosphériques différents :

		W
Ciel pur	0.05	1
Ciel moyen	0.1	2
Ciel dégrade	0.2	5

Tableau III.3 : Valeurs du coefficient d'angström et de la hauteur d'eau condensable pour trois états atmosphériques.[28]

La distance optique atmosphérique (la masse atmosphérique) est exprimée par la formule :

$$m_h = \frac{1 - 0.1Z}{\sin(h) + 0.15(h + 3.885)^{-1.255}} \quad (\text{III.31})$$

Z étant l'altitude du lieu (Km)

L'éclairement diffus $D(\beta)$ est donné par la relation :

$$D(\beta) = \left(\frac{1 + \cos(\beta)}{2}\right) D_H + \left(\frac{1 - \cos(\beta)}{2}\right) a^* G_H \quad (\text{III.32})$$

D_H : Le rayonnement diffus reçu par un plan horizontal donné par:

$$D_H = \frac{(I_0)_{ext}}{25} \sqrt{\sin(h)} [T_L - 0.5 - \sqrt{\sin(h)}] \quad (\text{III.33})$$

G_H : Le rayonnement global reçu par un plan horizontal donné par:

$$G_H = (1270 - 56T_L) \sqrt{\sin(h)}^k \quad (\text{III.34})$$

Avec : $K = \frac{T_L + 36}{33} \quad (\text{III.35})$

III.2.2.4. Modèle de Liu et Jordan- [7]:

Si l'éclairement direct et diffus est connu sur un plan horizontal, on peut calculer l'éclairement solaire sur des plans inclinés, dans ce cas le rayonnement global arrivant sur une surface inclinée, est composé de trois composantes (la composante du rayonnement direct, diffus isotrope et diffus provenant du ciel), le rayonnement global sur un plan incliné donnée par l'équation suivante:

$$G_i = R_d(i) + D_c(i) + D_s(i) \quad (\text{III.36})$$

La composante du rayonnement « direct » est donnée par la relation suivante:

$$R_d(i) = I_h R_b \quad (\text{III.37})$$

R_b : est le facteur d'inclinaison donné par la relation suivante:

$$R_b = \frac{\cos(\varphi - i) \cos(\delta) \cos(\omega) + \sin(\varphi - i) \sin(\delta)}{\cos(\varphi) \cos(\delta) \cos(\omega) + \sin(\varphi) \sin(\delta)} \quad (\text{III.38})$$

La composante du rayonnement « diffus » sur un plan incliné est donnée par : $D_c(i) = D_h \cdot \left(\frac{1 + \cos(i)}{2} \right)$ (III.39)

La dernière composante du rayonnement diffus par le sol est donnée par l'équation suivante:

$$D_s(i) = G_h \left(\frac{1 - \cos(i)}{2} \right) \cdot \rho_s \quad (\text{III.40})$$

Ou,

i : Angle d'inclinaison du plan par rapport à l'horizontal, et ρ_s : Albédo du sol.

Pour la ville de Biskra, on a élaboré un organigramme de calcul du rayonnement solaire sur un plan horizontal et incliné, nous avons calculé les insolation pour le 30^{ième} jour des mois suivants : Mars, Juin, Septembre et Décembre, les procédures de calcul se trouvent dans le quatrième chapitre.

III.2.2.5 Modèle de R.Sun [29] :

✓ Eclairage solaire direct incident sur un plan horizontal par ciel clair

Le rayonnement direct normal est exprimé en fonction du facteur T_{Lk} selon la formule suivante:

$$I_{bn} = I_c \cdot \exp(-0.8662 \cdot T_L \cdot m \cdot \delta_r(m)) \quad (\text{III.41})$$

Le terme $\{-0.8662 T_L\}$ est le deuxième facteur de trouble atmosphérique de Linke par ciel clair (sans dimension) corrigé par Kasten.

Le rayonnement direct incident sur un plan horizontal par ciel clair I_{bh} est donné par l'équation suivante ;

$$I_{bh} = I_c \cdot \exp(-0.8662 \cdot T_{Lk} \cdot m \cdot \delta_r(m)) \cdot \sin(h) \quad (\text{III.42})$$

✓ Eclairage solaire diffus incident sur un plan horizontal par ciel clair

Puisque le ciel sans nuage devient plus trouble, donc, l'éclairage diffus augmente lorsque l'éclairage direct diminue. L'estimation de la composante diffuse sur un plan horizontal est effectuée en faisant le produit de l'éclairage énergétique normal extraterrestre, le facteur de transmission (T_n) est en fonction uniquement du facteur de trouble atmosphérique de Linke corrigé T_{Lk} et une fonction du diffus de l'altitude solaire F_d qui ne dépend que de l'altitude solaire (h).

$$I_{dh} = I_c \cdot T_n(T_{Lk}) \cdot F_d(h_0) \quad (\text{III.43})$$

L'estimation du facteur de transmission $T_n(T_{Lk})$ permet de donner un éclairage diffus théorique sur une surface horizontale. L'expression suivante est sous forme d'une fonction polynomiale de deuxième ordre.

$$T_n(T_{Lk}) = -0.051843 + 0.030543 \cdot T_{Lk} + 0.0003797 \cdot T_{Lk}^2 \quad (\text{III.44})$$

F_d : La fonction de l'altitude solaire est donnée par l'expression:

$$F_d(h_0) = A_1 + A_2 \cdot \sin(h_0) + A_3 \cdot \sin^2(h_0) \quad (\text{III.45})$$

A_i : sont des coefficients dépendants uniquement du facteur de trouble T_L corrigé, définis par les expressions suivantes:

$$A'_1 = 0.26463 - 0.061581 \cdot T_{Lk} + 0.003108 \cdot T_{Lk}^2 \quad (\text{III.46})$$

$$A_1 = A'_1 \text{si } A'_1 T_n(T_{Lk}) \geq 0.0022 \quad (\text{III.47})$$

$$A_2 = 2.04020 + 0.018945 \cdot T_{Lk} - 0.011161 \cdot T_{Lk}^2 \quad (\text{III.48})$$

$$A_3 = -1.3025 + 0.039231 T_{Lk} - 0.0085079 \cdot T_{Lk}^2 \quad (\text{III.49})$$

Subséquentement, l'éclairement global sur une surface horizontale est calculé comme suit :

$$I_{gh} = I_{bh} + I_{dh} \quad (\text{III.50})$$

III.2.2.6 Modèle d' Euftrat[30] :

Ce modèle, qui permet le calcul des éclaircissements énergétiques, fait appel au trouble atmosphérique à travers le coefficient de trouble atmosphérique β . Après avoir calculé tous les paramètres climatiques, on passe au calcul des différents types de rayonnements:

- **Rayonnement direct en incidence normale, I_n (W/m^2):**

$$I_n = I_0 \cdot \alpha \cdot \exp\left[\frac{-AM \cdot \beta}{0.9 \cdot AM + 9.4}\right] \quad (\text{III.51})$$

Où :

- $I_0 = 1367 \text{ W}/\text{m}^2$. (Constante solaire)

- AM: La trajectoire du soleil.

- **Rayonnement global horizontal, G_h (W/m^2):**

$$G_h = \alpha \cdot (1270 - 56 \cdot \beta) \cdot \sin(h)^{\frac{\beta+36}{33}} \quad (\text{III.52})$$

- **Rayonnement diffus horizontal, D_h (W/m^2):**

$$D_h = G_h - I_n \cdot \sin(h) \quad (\text{III.53})$$

Pour le calcul du rayonnement global sur les plans inclinés, on a les formules suivantes:

- **Rayonnement diffus sur un plan incliné, D_i (en W/m^2):**

$$\begin{cases} \text{si } \frac{\theta_i}{\sin h} > C_p \text{ alors } D_i = D_h \cdot \left[F_2 \cdot C_p + \frac{(1 + F_2) \cdot \theta_i}{\sin h} \right] \\ \text{si } \frac{\theta_i}{\sin h} \leq C_p \text{ alors } D_i = D_h \cdot C_p \end{cases}$$

Avec: F_2 et C_p sont données par les expressions suivantes:

$$F_2 = 1 - \frac{I_n}{I_0 \cdot \alpha} \quad \text{(III.54)}$$

$$C_p = \frac{1 + \cos(i)}{2} \quad \text{(III.68)}$$

- **Rayonnement global sur un plan incliné, G_i (en W/m^2):**

$$G_i = I_n \cdot \cos(\theta_i) \cdot 0.2 \cdot D_i \cdot D_h \cdot \frac{(1 - \cos(i))}{2} \quad \text{(III.55)}$$

Où: i est l'inclinaison du capteur.

III.2.2.7 Davies & Hay[31]:

Ce modèle propose des relations empiriques permettant d'estimer les différents coefficients de transmission du rayonnement solaire (Transmittance d'ozone, Vapeur d'eau, d'aérosol et de mélanges gazeux), pour déduire les différentes masses atmosphériques et les composantes du rayonnement solaire.

L'éclairement dû au rayonnement direct sur un plan horizontal est donné par la relation:

$$I_{skc} = I_0 \cdot (\tau_0 \cdot \tau_r - \alpha_w) \cdot \tau_a \cdot \sin(h) \quad \text{(III.56)}$$

$$D_{skc} = D_g + D_{as} \quad \text{(III.57)}$$

Avec:

$$D_g = \frac{(B + D_{as}) \cdot \rho \cdot \rho_g}{(1 + \rho \cdot \rho_g)} \quad \text{(III.58)}$$

$$D_{as} = I_0 \cdot \left[\frac{\tau_0 \cdot (1 - \tau_r) \cdot \tau_a}{2} + (\tau_0 \cdot \tau_r - \alpha_w) \cdot (1 - \tau_a) \cdot w_0 \cdot B \alpha \right] \cdot \sin(h) \quad \text{(III.59)}$$

Les fonctions de transmission sont données par:

$$D_r = 0.79 \cdot I_0 \cdot \cos(z) \cdot \tau_r \cdot \tau_0 \cdot \tau_g \cdot \tau_w \cdot \tau_{aa} \cdot \frac{(1 - \tau_r)}{(1 - m_g + m_a^{1.02})} \quad \text{(III.60)}$$

$$D_a = 0.79 \cdot I_0 \cdot \cos(z) \cdot \tau_0 \cdot \tau_g \cdot \tau_w \cdot \tau_{aa} \quad \text{(III.61)}$$

$$D_m = \frac{(1+D_a+D_r) \cdot \rho \cdot \rho'_a}{(1-\rho \cdot \rho'_a)} \quad (III.62)$$

Les termes: $\tau_0 \cdot \tau_g \cdot \tau_w \cdot \tau_{aa}$ sont les fonctions de transmission de l'atmosphère à la longueur d'onde relativement à la diffusion moléculaire, à l'atténuation par les aérosols, à l'absorption par la vapeur d'eau, à l'absorption par l'ozone et l'absorption par les mélanges gazeux uniformes

III.2.2.8 Modèle Temps-Coulson[32] :

Le modèle de Temps-Coulson pour un ciel clair prend en considération la correction de au rayonnement diffus horizon et diffus circonférence; Il peut être estime :

$$I_d(\beta) = I_d \cdot \cos^2\left(\frac{\beta}{2}\right) \cdot (1 + \sin^3\left(\frac{\beta}{2}\right)) \cdot (1 + \cos^2(\theta_i)) \cdot \sin^3(\theta_z) \quad (III.63)$$

θ_i : Angle d'incidence, θ_z : Angle zénithal du soleil.

Le terme $(1 + \sin^3(\frac{\beta}{2}))$ rend compte de l'effet horizon et le terme $(1 + \cos^2(\theta_i)) \cdot \sin^3(\theta_z)$ pour l'effet circumsolaire.

III.2.2.9 Modèle de Gueymard[32]:

Gueymard admet dans son modèle de (1987) que le rayonnement diffus est fonction de la distribution du rayonnement. Pour une surface inclinée on peut écrire :

L'hypothèse principale est que le rayonnement en ciel nuageux peut être considéré comme la somme de deux rayonnement l'un à ciel clair et l'autre à ciel couvert. Gueymard a introduit un facteur qui correspond à tout type de ciel où les indices 0 et 1 correspondent à l'état du ciel (0: Clair et 1: Ciel couvert).

$$r_d = (1 - N_{pt}) \cdot r_{d0} + N_{pt} \cdot r_{d1} \quad (III.64)$$

$$N_{pt} = \max\{\min(Y, 1), 0\} \quad (III.85)$$

$$Y = 6.6667 \cdot \frac{I_d}{I_G} - 1.416 \quad (III.65)$$

Avec: $(I_d/I_G) \leq 0.227$

Autrement:

$$Y = 1.2121 \cdot \frac{I_d}{I_G} - 0.1758 \quad (III.87)$$

r_{d0} et r_{d1} sont obtenus si les distributions normalisés du rayonnement correspondantes sont disponibles.

$$r_{d0} = \exp\{a_0 + a_1 \cdot \cos(\theta_i) + a_2 \cos^2(\theta_i) + a_3 \cos^3(\theta_i)\} + F(\beta) + G(h) \quad (\text{III.66})$$

$$a_0 = -0.897 - 3.364h' + 3.960h'^2 - 1.909h'^3 \quad (\text{III.89})$$

$$a_1 = 4.448 - 12.962 \cdot h' + 34.601h'^2 - 48.784h'^3 + 27.511h'^4 \quad (\text{III.90})$$

$$a_2 = -23770 + 9.164 \cdot h' - 18.876 \cdot h'^2 + 23.776 \cdot h'^3 - 13.014 \cdot h'^4 \quad (\text{III.67})$$

$$a_3 = 0.312 - 0.21 \cdot h' - 0.805 \cdot h'^2 + 0.318 \cdot h'^3 \quad (\text{III.68})$$

$$F(\beta) = \frac{1+b_0 \cdot \sin^2(\beta) + b_1 \cdot \sin(2 \cdot \beta) + b_2 \cdot \sin(4 \cdot \beta)}{1+b_0} \quad (\text{III.69})$$

Où:

$$b_0 = -0.2249, b_1 = 0.1231 \text{ et } b_2 = -0.0342.$$

$$G(h) = 0.408 - 0.323 \cdot h' + 0.384 \cdot h'^2 - 0.170 \cdot h'^3 \quad (\text{III.70})$$

$$h' = 0.01 \cdot h$$

Equation de Steven-Unsworth

$$r_{d1} = \cos^2\left(\frac{\beta}{2}\right) + \frac{2 \cdot b}{\pi \cdot (3+2 \cdot b)} \times \left(\sin(\beta) - \beta \cdot \cos(\beta) - \pi \cdot \sin^2\left(\frac{\beta}{2}\right)\right) \quad (\text{III.71})$$

Gueymard propose : $b=1.5$.

$$r_{d1} = \cos^2\left(\frac{\beta}{2}\right) + \frac{1}{2 \cdot \pi} \times \left(\sin(\beta) - \beta \cdot \cos(\beta) - \pi \cdot \sin^2\left(\frac{\beta}{2}\right)\right) \quad (\text{III.72})$$

III.2.3 Paramètre de position:

III.2.3.1 Les coordonnées géographiques [33]:

Tout point de la surface de la terre est repéré par ses coordonnées géographiques:

- **La longitude (λ):** est l'angle entre le plan méridien passant par ce lieu avec la méridienne origine de Greenwich, elle varie de -180° à $+180^\circ$ de l'ouest à l'est.
- **La latitude (L):** est l'angle avec le plan équatorial que fait le rayon joignant le centre de la terre à ce lieu, elle varie entre $+90^\circ$ au pôle Nord et -90° au pôle Sud.
- **L'altitude (Z):** correspond à la distance verticale entre ce point et une surface de référence, le géoïde, figurant le niveau moyen de la mer.

La détermination de la direction du soleil sur la sphère céleste se fait par des coordonnées célestes du soleil.

III.2.3.2 Les coordonnées célestes horizontales[33] :

Le repérage du soleil se fait par l'intermédiaire de deux angles qui sont:

- **L'azimut (a):** est l'angle compris entre le méridien du lieu et le plan vertical passant par le soleil. Il est donné par la relation suivante :

$$\sin(a) = \cos(d) \times \frac{\sin(\omega)}{\sin(h)} \quad (\text{III.73})$$

- **La hauteur du soleil (h):** est l'angle que fait la direction du soleil avec sa projection sur un plan horizontal, elle est donnée par la formule :

$$\sin(h) = \sin(L) \cdot \sin(d) + \sin(L) \cdot \cos(d) \cdot \cos(\omega) \quad (\text{III.74})$$

III.2.3.3 Les coordonnées célestes horaires[33]:

- **L'angle horaire ω (en degré):** est l'arc de la trajectoire solaire compris entre le soleil et le plan méridien du lieu, il augmente de 15° par heure[34]

$$\omega = 15 \cdot (TSV - 12) \quad (\text{III.75})$$

- **La déclinaison(d):** est l'angle entre le plan de l'équateur terrestre avec la direction terre-soleil. Elle varie suivant l'équation:

$$d = 23.45 \cdot \sin\left(\frac{360}{365} \cdot (n - 81)\right) \quad (\text{III.76})$$

III.2.3.4 Les temps solaires[34]:

III.2.3.4.1 Le temps solaire vrai (TSV):

Le temps solaire vrai, en un instant et un lieu donné, est l'angle horaire du soleil ω . Il est donné sous la forme suivante:

$$TSV = 12 + \frac{\omega}{15} \quad (\text{III.77})$$

Si $\omega = 0$, TSV = 12h.00

Si $\omega < 0$, la matinée.

Si $\omega > 0$, l'après-midi.

III.2.3.4.2 Le temps solaire moyen (T.S.M) :

Il est donné par la relation:

$$ET = TSV - TSM \quad (III.78)$$

La variation de la vitesse de la terre sur sa trajectoire autour du soleil introduit un terme correctif appelé équation du temps (ET) telle que [26]:

$$ET = [0.0002 - 0.4797 \cdot \cos(w' \cdot j) + 3.2265 \cdot \cos(2 \cdot w' \cdot j) + 0.0903 \cdot \cos(3 \cdot w' \cdot j) + 7.3509 \cdot \sin(w' \cdot j) + 9.3912 \cdot \sin(2 \cdot w' \cdot j) + 0.3361 \cdot \sin(3 \cdot w' \cdot j)] \quad (III.79)$$

Où: j est le numéro du jour de l'année, $w'=0.984$.

III.2.3.4.3 Le temps universel (TU):

C'est le temps moyen du méridien de Greenwich (méridien origine):

$$TU = TSM - \frac{L}{15} \quad (III.80)$$

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

III.2.3.4.4 Le temps légal (TL) :

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

$$TL = TU + \Delta H \quad (III.81)$$

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

III.2.4 Durée d'enseillent D_{IS} d'un capteur (α, γ) [35]:

La durée d'insolation (D_{IS}) est la durée effective d'enseillement d'un capteur mesurée par héliographe. Elle est définie à partir d'un seuil minimum ($\approx 250w/m^2$).

Pour un plan (α, γ) , un lieu φ et un jour donnés, i est uniquement fonction de l'angle horaire H , on exprimera donc $\cos i$ en faisant bien apparaître la variable H .

$$\cos(i) = A \cdot \sin(H) + B \cdot \cos(H) + C \quad (\text{III.82})$$

$$\text{Avec: } \begin{cases} A = A' \cos(\gamma) A' = \cos(\gamma) \sin(\alpha) \\ B = B' \cos(\delta) B' = \cos(\gamma) \cos(\alpha) \sin \varphi + \sin(\gamma) \cos(\varphi) \\ C = C' \sin(\gamma) C' = -\cos(\alpha) \cos(\gamma) \cos \varphi + \sin(\gamma) \cos(\varphi) \end{cases}$$

Le lever $H_{L'}$ et le coucher $H_{C'}$ du soleil sur un capteur sont définis pour :

$$i = \pm 90^\circ \rightarrow \cos(i) = 0 \rightarrow A \sin(H) + B \cos(H) + C = 0$$

La résolution de cette équation donne deux solutions une pour le lever et l'autre pour le coucher:

$$\begin{cases} H_{L'} = \rho(\alpha) \arccos\left(\frac{B'}{D'}\right) - \arccos\left(\frac{-C'}{D'} \operatorname{tg}(\delta)\right) \\ H_{C'} = \rho(\alpha) \arccos\left(\frac{B'}{D'}\right) + \arccos\left(\frac{-C'}{D'} \operatorname{tg}(\delta)\right) \end{cases}$$

Avec:

$$D' = \sqrt{A'^2 + B'^2} \quad (\text{III. 83})$$

$$\rho(\alpha) = \operatorname{singe} \text{ de } \alpha \quad (\text{III.84})$$

La durée d'ensoleillement d'un capteur est donnée par :

$$D_{IS} = \frac{H_2 - H_1}{15} \quad (\text{III.85})$$

$$\text{Avec: } \begin{cases} H_1 = H_{L'} \text{ si } |H_{L'}| \leq |H_L| \\ H_1 = H_L \text{ si } |H_{L'}| \geq |H_L| \\ H_2 = H_{C'} \text{ si } |H_{C'}| \leq |H_C| \\ H_2 = H_C \text{ si } |H_{C'}| \geq |H_C| \end{cases}$$

III .2.5Durée du jour[7]

La durée du jour « d_j » est donnée par la relation suivante:

$$d_j = \frac{2}{15} \cdot \arccos(-\operatorname{tg}(\varphi) \cdot \operatorname{tg}(\delta)) \quad (\text{III.86})$$

III.2.6 Fraction d'insolation [7]

La durée d'insolation est une variable qui présente une grandeur non stationnaire, celle-ci trouve son explication dans la variation de sa moyenne au cours de l'année, à cause de la saisonnalité du processus, en effet elle varie d'un jour à l'autre, l'ensoleillement d'un site est exprimé par la fraction d'insolation « σ » définie par le rapport:

$$\sigma = \frac{s_h}{d_j} \quad (\text{III.87})$$

III.2.7 Vitesse du vent:

L'influence de la vitesse du vent est considérable quand celle-ci est entre 0 et 3 m/s au-delà, l'effet est moins important, ceci s'explique par le fait que les échanges convectifs entre la vitre et l'air ambiant augmentent avec la vitesse du vent, donc les pertes du capteur augmentent. Pour identifier le coefficient de convection externe, on utilise la relation empirique de Hottel et Woertztrès utilisée :

$$h = 5.67 + 3.86 \cdot V \quad (\text{III.88})$$

Où h est le coefficient moyen de transfert thermique ($\text{W.m}^{-2}.\text{k}^{-1}$) et V la vitesse du vent (m.s^{-1}) [36].

III.2.9 Modélisation de la température ambiante [30]

La température ambiante est un paramètre qui influe considérablement sur le rendement d'un capteur solaire, il est donc essentiel de connaître son évolution tout au long de la journée étudiée. Elle est estimée par la formule suivante:

$$T_{\alpha(m,t)} = \frac{T_{\max(m)} + T_{\min(m)}}{2} + \frac{T_{\max(m)} - T_{\min(m)}}{2} \cdot \sin\left(\pi \cdot \frac{t-1}{12}\right) \quad (\text{III.89})$$

Cette dernière retourne la température ambiante à l'instant t depuis le lever du soleil en heure pour un jour du mois m . Elle est calculée en fonction de $T_{\min(m)}$ et $T_{\max(m)}$ les moyennes journalières mensuelles de la température minimale et maximale sur 24 heures qui sont obtenues de l'Office National de Météorologie (O.N.M). Elles sont enregistrées à partir de mesures collectées sur 30 ans. Pour la ville d'Alger (Voir Tableau(III -4))

Mois	Température maximale (°C)	Température minimale (°C)
Janvier	16.7	5.5
Février	17.4	5.9
Mars	19.2	7.1
Avril	20.9	8.8
Mai	23.9	12.3
Jaune	28.2	16.1
Juillet	31.2	18.9
Aout	32.2	19.8
Septembre	29.6	17.6
Octobre	25.9	14.2
Novembre	20.8	9.8
Décembre	17.9	7.2

Tableau. (III -4) Les moyennes journalières mensuelles des températures[31].

III.3 Paramètre intrinsèques:

III.3.1 Les paramètres de position :

III.3.1.1 L'orientation des capteurs[37] :

Les capteurs solaires peuvent être :

- **Des capteurs fixes**

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

- La simplicité et la fiabilité.
- Un faible entretien.
- Ils peuvent faire partie intégrante d'une construction (toit ou mur).
- L'angle d'incidence du rayonnement solaire sur l'absorbeur n'est pas très longtemps chaque jour à son maximum d'efficacité.

- **Des capteurs à poursuite**

Le capteur solaire peut être muni d'un dispositif de guidage automatique dans la direction de provenance du flux lumineux, ce qui va améliorer le rendement du capteur.

III.3.1.2 Angle d'incidence sur un plan[37] :

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

$$\cos(i) = \cos(\alpha - a) \cdot \cos(\gamma) \cdot \cos(h) + \sin(\gamma) \cdot \sin(h) \quad (\text{III.90})$$

III.3.2 Le débit d'écoulement de l'air :

Le débit d'air traduit la vitesse à laquelle l'air circule dans le capteur. C'est un paramètre qui affecte sensiblement son fonctionnement.

$$\dot{m} = \rho \cdot v \cdot s \quad (\text{III.91})$$

\dot{m} : Le débit massique (kg/s).

ρ : La masse volumique de l'air (=1293 kg/m³)

S: La section de passage de fluide caloporteur [18].

III.3.3 L'isolant[17] :

L'isolant reçoit une quantité d'énergie par convection q_{cfi} cédée par le fluide caloporteur.

$$q_{cfi} = h_{cfi} \cdot A_{fi} \cdot (T_f - T_i) \quad (\text{III.92})$$

et une quantité d'énergie par conduction q_{cdai} cédée par l'absorbeur.

$$q_{cdai} = \frac{(T_{ab} - T_{ii})}{\varphi_1} + \frac{(T_{ab} - T_{ii})}{\varphi_2} \quad (\text{III.93})$$

III.3.4 L'absorbeur [17]:

L'absorbeur reçoit :

- Une puissance rayonnée par le soleil, transmise par la vitre et absorbée par l'absorbeur, donnée par l'équation suivante:

$$P_{ab} = \alpha_{ab} \cdot \tau_v \cdot G \cdot A_{ab} \quad (\text{III.94})$$

Où :

- α_{ab} : Absorptivité de l'absorbeur.
- τ_v : Transmissivité de la vitre.
- A_{ab} : Surface de l'absorbeur.

III.3.5 La différence de température entre le fluide et l'air ambiant :

- Il existe la formule suivante (pour un capteur solaire plan à eau):

$$\eta = \beta - k \cdot \frac{\Delta T_{fld,ext}}{G} \quad (III.95)$$

- β : Facteur optique du capteur (sans dimension).
- k : Coefficient de déperdition du capteur ($W/m^2 \cdot ^\circ C$).
- $\Delta T_{fld,ext}$: La différence de température entre le fluide caloporteur T_m , et l'air ambiant T_{ext} .

$$\Delta T_{fld,ext} = T_m - T_{ext}$$

$$T_m = \frac{T_e + T_s}{2}$$

- T_{ext} : La température extérieure ($^\circ C$).
- T_e : La température d'entrée du fluide ($^\circ C$).
- T_s : La température de sortie du fluide ($^\circ C$).
- G : Eclairement solaire (W/m^2)[17].

III.3.6 La température d'entrée:

L'évolution théorique de la température ambiante, qui est la température d'entrée de l'air dans le capteur, peut être modélisée par l'équation:

$$T_e(t) = \frac{T_{max} + T_{min}}{2} + \left(\frac{T_{max} - T_{min}}{2} \right) \cdot \cos\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot t}{\Delta t}\right) \quad (III. 96)$$

Avec:

T_{max} et T_{min} : sont les températures ambiantes maximale et minimale au cours de la journée.

t: temps solaire vrai [36]. [Temps solaire vrai= TSV]

Après la correction de temps de midi solaire la Donc, la température d'entrée de l'air dans le capteur au midi solaire est [26]:

$$T_s(t) = \frac{T_{max} + T_{min}}{2} + \left(\frac{T_{max} - T_{min}}{2} \right) \cdot \cos \left(\frac{2 \cdot \pi \cdot (T_{SV} - (T_{MS} + \frac{1}{g} \Delta t))}{\Delta t} \right) \quad (III.97)$$

III.3.9 La température de sortie [26]:

L'expression de la température de sortie :

- Pour un débit de 20 (m³/h.m²)

$$T_s = \frac{102.7 \cdot G^*}{P(z)} + T_a \quad (III.98)$$

- Pour un débit de 35 (m³/h.m²)

$$T_s = \frac{71.4 \cdot G^*}{P(z)} + T_a \quad (III.99)$$

Où:

$$P(z) = P_0 \cdot \left(1 - \frac{0.0065 \cdot z}{288.15} \right)^{5.31} \quad (III.100)$$

$$P(z) = P_0 \cdot \exp(-0.1198 \cdot z) \quad (III.101)$$

G*: est le rayonnement solaire incident en [W/m²].

$$G^* = S^* + D^* \quad (III.102)$$

$$S^* = \left[1370 \exp \left(17 + \frac{1.2}{0.9 + 9.4 \sin(h)} \right) \right] * \sin(h) \quad (III.107)$$

$$D^* = 54.8 \sqrt{\sin(h)} \left\{ \left[1370 \cdot \exp \left(17 + \frac{1.2}{0.9 + 9.4 \sin(h)} \right) \right] - 0.5 - \sqrt{\sin(h)} \right\} \quad (III.103)$$

III.4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté et étudié les différentes formules mathématiques liées aux phénomènes physiques qui se génèrent dans ces capteurs et les paramètres de fonctionnement influant sur leur efficacité. Il est à noter qu'il existe une multitude de formules pour évaluer ces paramètres. Nous avons exposé ici, celles qui nous paraissent simples.

CHAPITRE IV

Influence des paramètres

IV .1 Introduction :

Dans ce chapitre nous allons présenter et interpréter les résultats des simulations effectués issues d'un code de calculs élaboré en langage de programmation Matlab. Les calculs ont pour but l'étude de l'influence des paramètres tels que le rayonnement solaire et la température d'entrée et sortie du capteur sur le rendement de ce dernier.

IV .2 Influence de (RSD) pour le cas d'un ciel très clair :

Les courbes qui suivent montrent la distribution du rayonnement solaire direct (RSD) par conditions de :

Ciel très clair du lever au coucher du soleil le 06/01/2011 :

Biskra ($5^{\circ}44'E$, $34^{\circ}48'N$), $T_{max}=17C^{\circ}$, $T_{min}=05C^{\circ}$

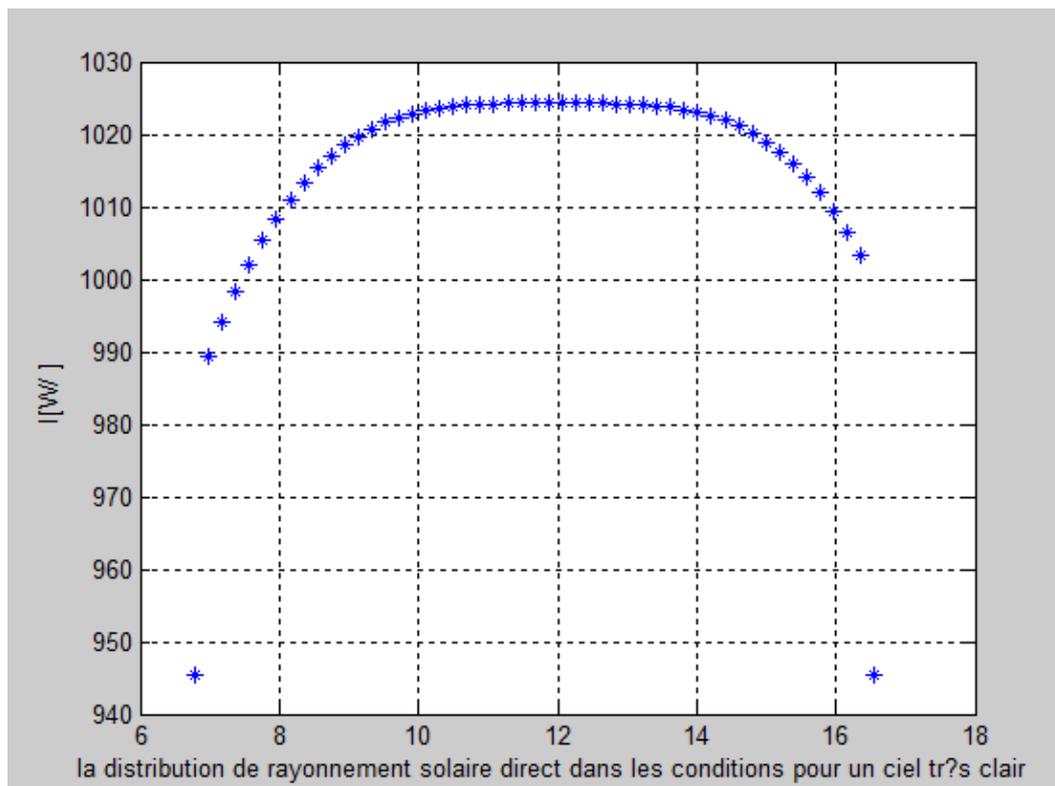


Figure IV .1: La distribution de rayonnement solaire direct dans les conditions pour un ciel très clair.

On note l'utilisation du modèle de Perrin de Brichambaut pour ces courbes.

IV .3 Influence de la température d'entrée de l'air dans le capteur :

Nous utilisons ici l'expression théorique de la température ambiante, modélisée par l'équation :

$$T_e(t) = \frac{T_{max} + T_{min}}{2} + \left(\frac{T_{max} - T_{min}}{2} \right) \cdot \cos\left(\frac{2\pi \cdot (T_{SV} - T_{MS})}{\Delta t} \right)$$

Les calculs ont donnés la figure suivante :

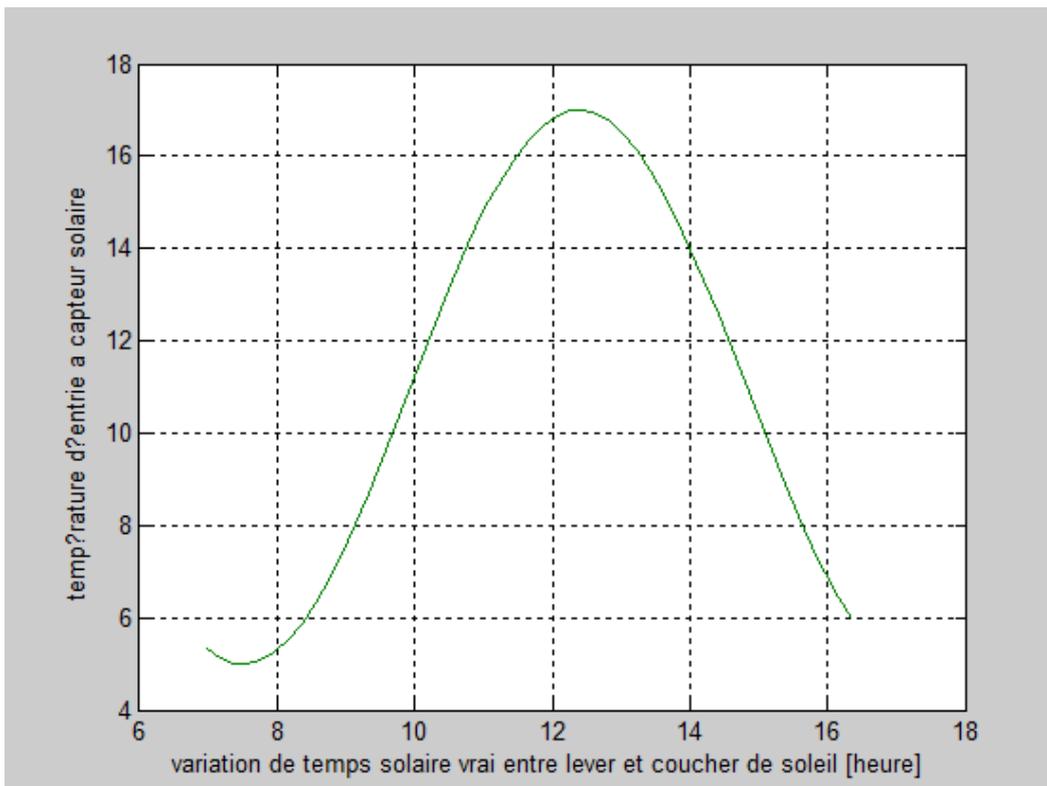


Figure IV .2 :La variation de température d'entrée.

On observe que la valeur maximale de la température d'entrée est obtenue à midi solaire.

Le modèle corrigé (correction liée au temps de midi solaire) donne la température d'entrée de l'air dans le capteur selon l'expression :

$$T_e(t) = \frac{T_{max} + T_{min}}{2} + \left(\frac{T_{max} - T_{min}}{2} \right) \cdot \cos\left(\frac{2\pi \cdot (T_{SV} - (T_{MS} + \frac{1}{8} \Delta t))}{\Delta t} \right)$$

Donc, les résultats du calculs ont donnés les courbes suivantes :

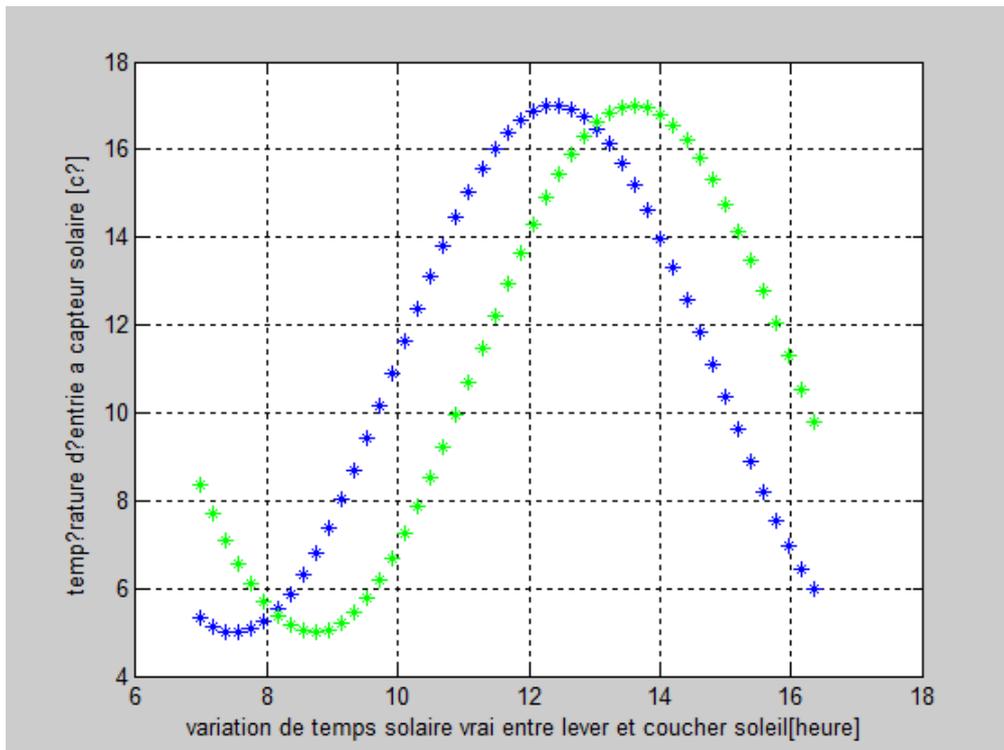


Figure IV .3 : La variation de température d’entrée à capteur solaire.

IV .4 Calcul de la température de sortie de l’air dans le capteur :

Pour calculer la température de sortie T_s , on considère par exemple un système caractérisé

par un rendement de $(\eta = 0.6)$, pour un débit volumique $Q_v = 20 \frac{m^3}{h}$

Donc :

$$T_s = \frac{102.7 \times G^*}{P(z)} + T_e$$

Et après des calculs, on obtient :

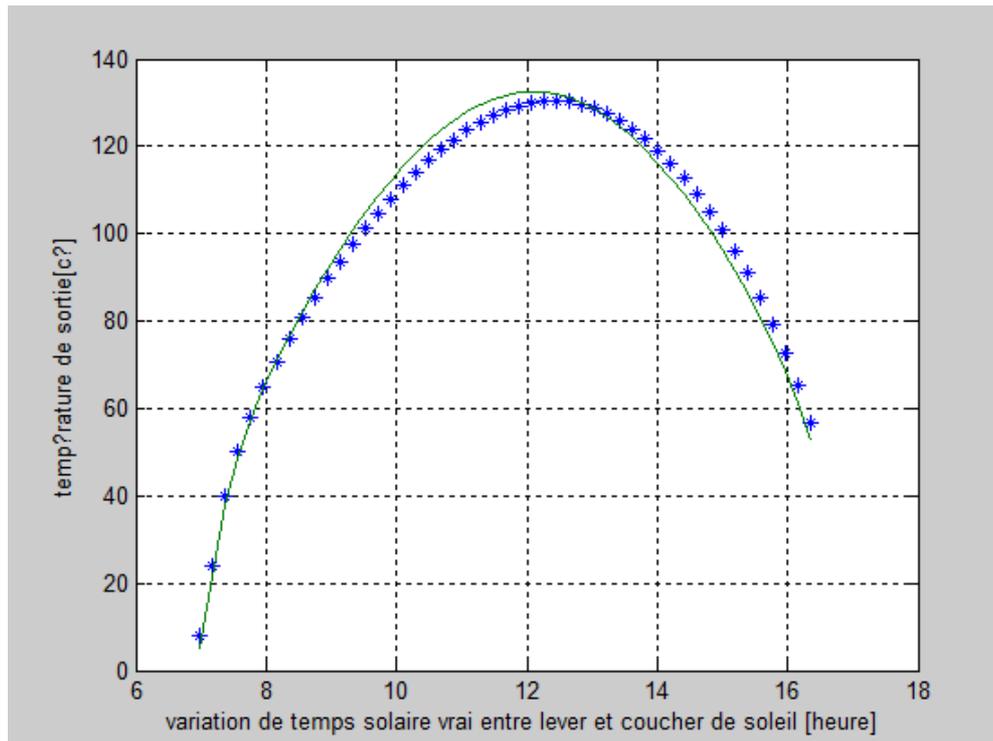


Figure IV.4 : La variation de température de sortie à capteur solaire.

IV .5 Influence de rayonnement solaire :

Les résultats obtenus à partir des modèles de Liu & Jordan, Perrin de Brichambaut et Karsten, sont simulés du lever jusqu'au coucher du soleil, respectivement pour, le 17 Juin, janvier.

IV .5.1 Modèle de Perrin de Brichambaut :

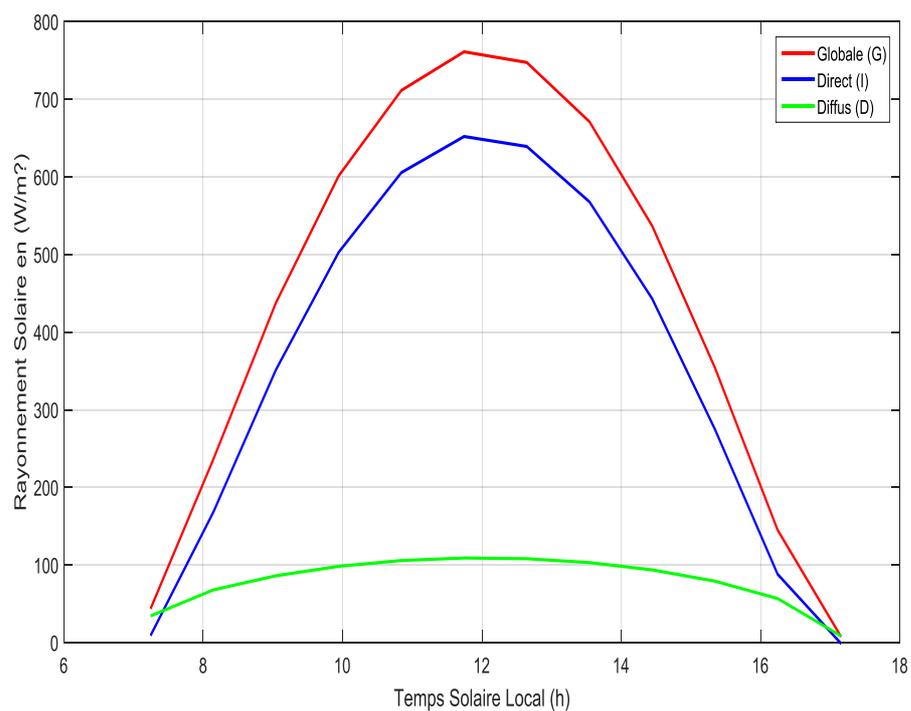


Figure IV.5 : Rayonnement global, diffus et direct (simulation) du 17 janvier - Modèle de Perrin de Brichambaut.

IV .5.2 Modèle de Liu & Jordan :

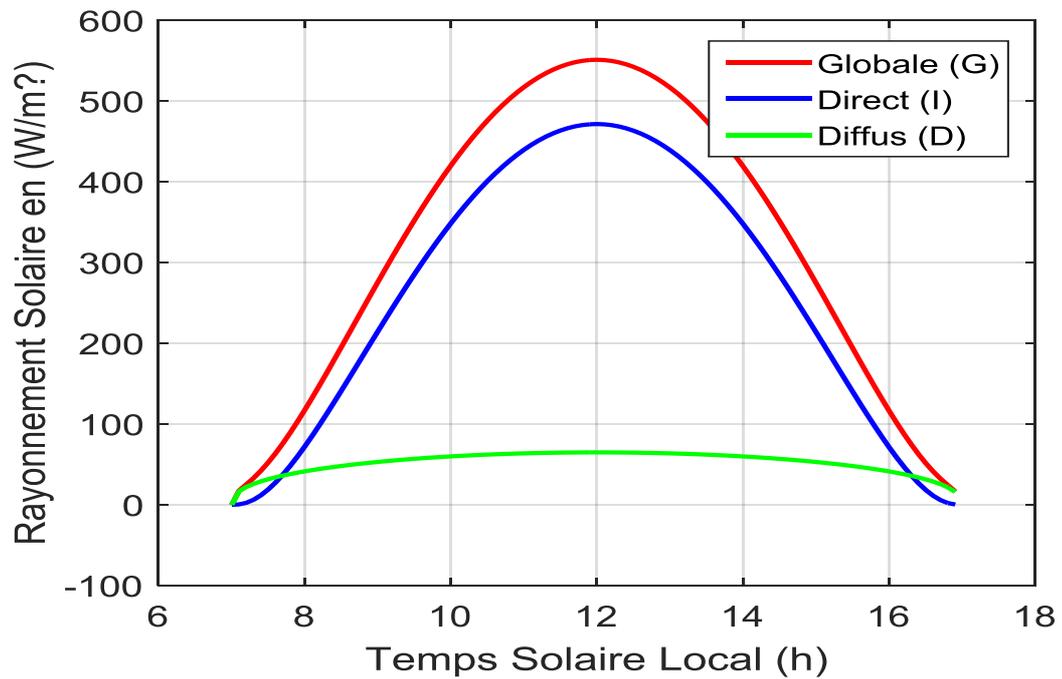


Figure IV.6 : Rayonnement global, diffus et direct (simulation) du 17 janvier - Modèle de Liu & Jordan.

IV .5.3 Modèle de Kasten :

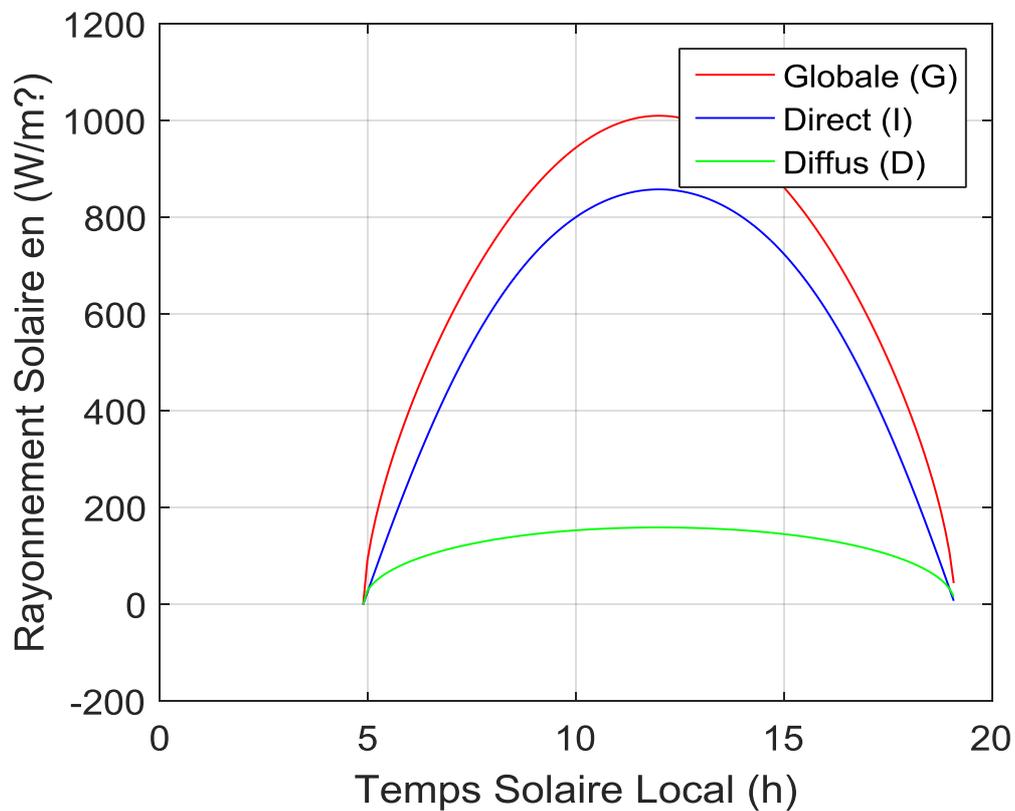


Figure IV.7 : Rayonnement global, diffus et direct (simulation) du 17 juin - Modèle de Kasten .

IV .6 Comparaison de trois modèles (Liu & Jordan , Perrin de Brichambaut et kasten) :

IV .6.1 Rayonnement solaire diffuse :

On remarque à travers cette courbe que le rayonnement solaire diffus du coucher au lever du soleil pour le modèle de Kasten est supérieur à Brichambaut et ce dernier est supérieur à Liu & Jordan.

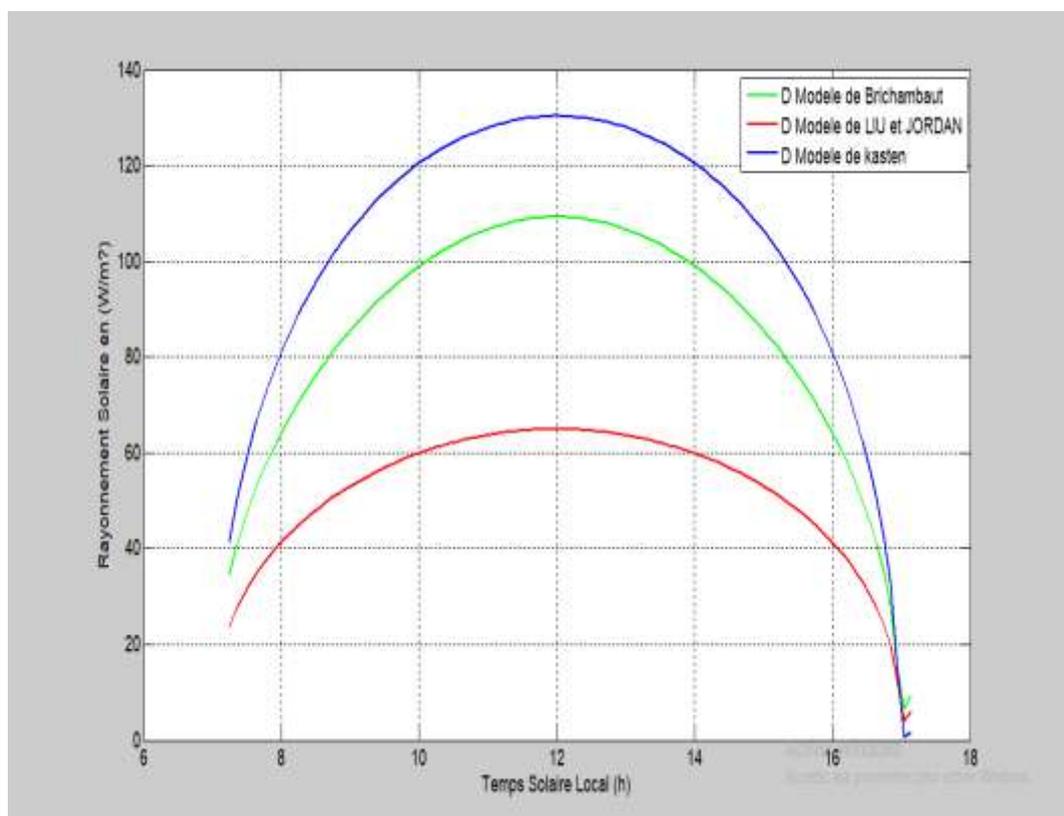


Figure IV.8 : Rayonnement solaire diffuse de 3 modèles.

IV .6.2 Rayonnement solaire direct :

On remarque à travers cette courbe que le rayonnement solaire direct du coucher au lever du soleil pour le modèle de Kasten est supérieur à Liu & Jordan et ce dernier est supérieur à Brichambaut.

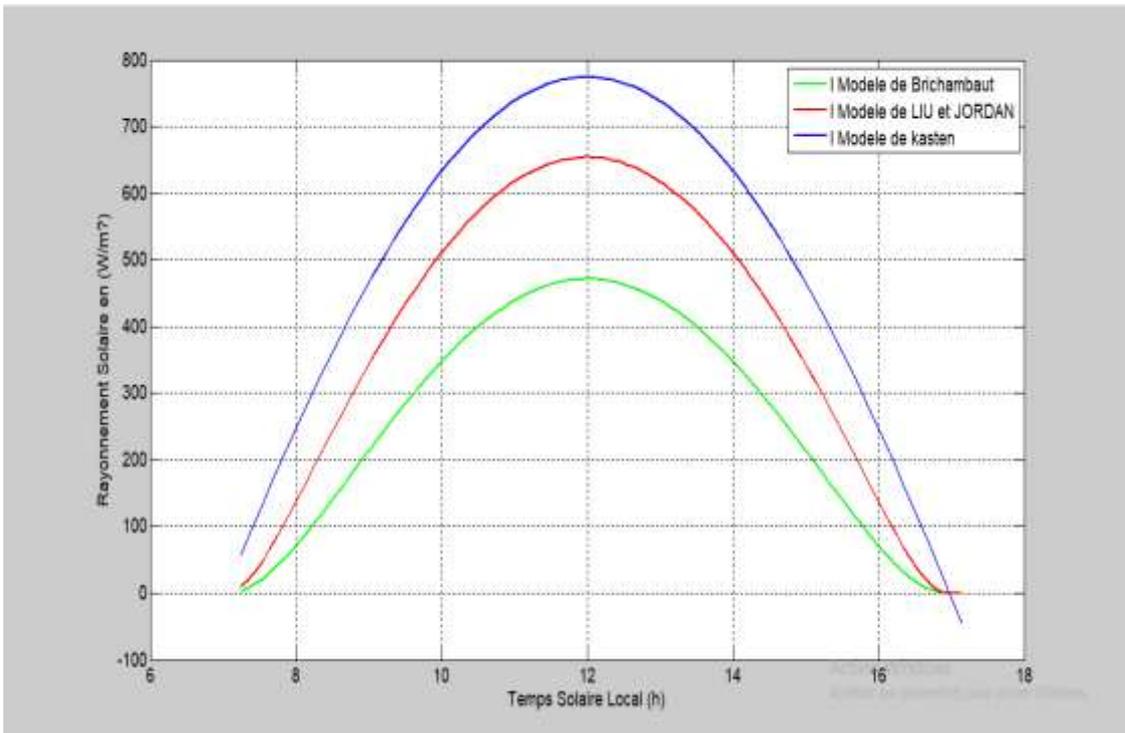


Figure IV.9 : Rayonnement solaire direct de 3 modèles.

IV .6.3 Rayonnement solaire global :

On remarque à travers cette courbe que le rayonnement solaire direct du coucher au lever du soleil pour le modèle de Liu & Jordan est supérieur à Kasten et ce dernier est supérieur à Brichambaut.

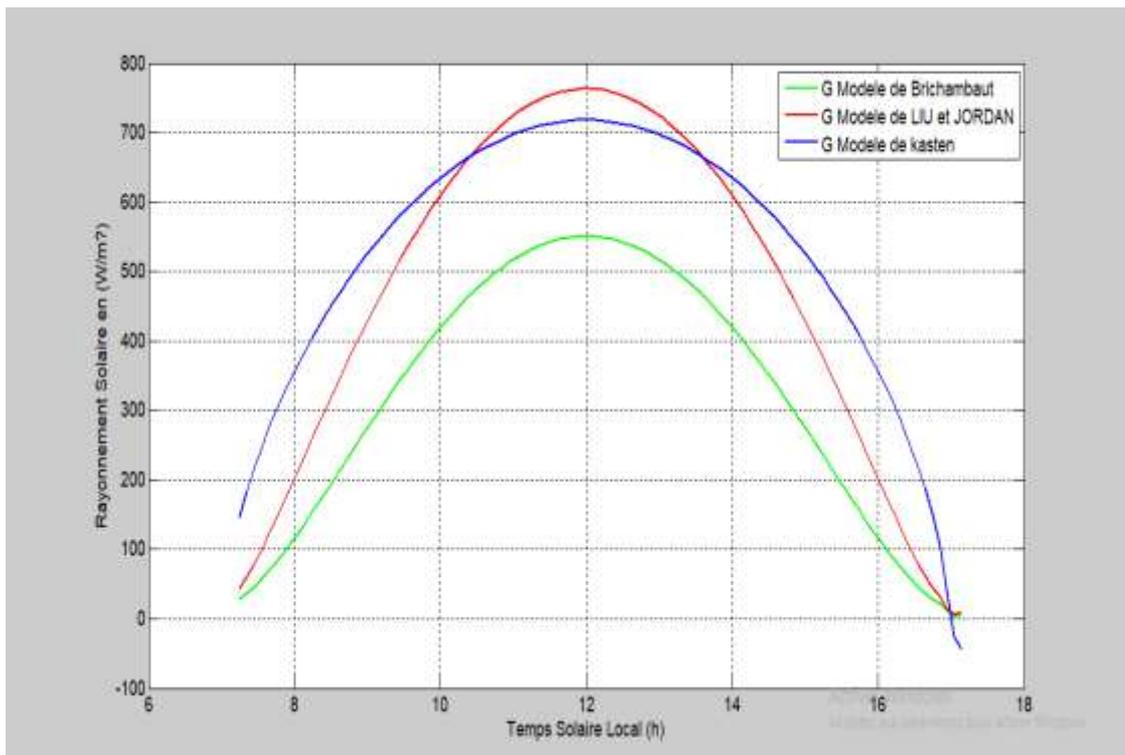


Figure IV.10 : Rayonnement solaire global des 3 modèles.

IV .7 Conclusion :

Après calcul du rayonnement solaire selon les différents modèles rencontrés, on constate que la distribution de rayonnement solaire dans les conditions pour un ciel très clair est en fonction du temps diffère d'un modèle à l'autre. Cette différence dépend de plusieurs considérations (mois, temps de la journée, sites considéré...)

Egalement pour la température de l'air qui diffère d'un modèle à l'autre.

Ceci affecte la température de sortie qui est issue du bilan dans lequel, le rayonnement solaire à une influence prépondérante.

CONCLUSION

GÉNÉRALE

Conclusion générale

Les énergies renouvelables constituent donc une alternative aux énergies fossiles pour plusieurs raisons : Elles sont moins perturbatrices de l'environnement, elles n'émettent pas de gaz à effet de serre et ne produisent pas de déchets. Elles sont inépuisables et elles autorisent une production décentralisée adaptée à la fois aux ressources et aux besoins locaux. Enfin elles offrent une importante indépendance énergétique.

Le capteur solaire est l'élément essentiel pour l'exploitation de l'énergie solaire, il capte le rayonnement solaire et le transforme sous forme de chaleur par effet de serre par des matériaux qui ont des grands coefficients d'absorption. Cette chaleur peut être utilisée dans le chauffage de l'eau sanitaire ou pour la climatisation des bâtiments.

Dans ce travail nous avons fait des simulations de certains modèles qui affectent le comportement d'un capteur solaire.

Les équations manipulées dans les calculs effectués sont programmées en Matlab. Les résultats obtenus mettent en évidence l'effet du choix du modèle considéré lorsqu'il s'agit de l'évaluation des paramètres surtout s'il s'agit d'une étude préalable de faisabilité d'une application de cette énergie convertie.

Certains paramètres n'ont pas été simulés dans ce travail. L'étude future serait d'étudier ces paramètres selon différents modèles pour mieux cerner le problème évoqué.

RÉFÉRENCES

BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques :

- [1] **A.Ferdjani**, «Développement d'un logiciel de simulation des performances thermiques des capteurs solaires plans». Thèse de magister-Université de Biskra (2013).
- [2] **A. Labeled**, « Contribution à l'étude des échanges convectifs en régime transitoire dans les Capteurs Solaires Plans à air ; Application au Séchage des produits agro-alimentaires». Thèse de doctorat- Université de Biskrab(2012).
- [4] **S.Y.Ali**, "Study and optimization of the thermal performances of the offset rectangular plate fin absorber plates, with various glazing". Renewable Energy, 30 (2005), pp. 271–280.
- [5] **Donatien Njomo**, "Etude théorique du comportement thermique d'un capteur solaire plan à air à couverture combinée plastique-vitre", Rev. Gén. Therm, 37 (1998), p. 973,980.
- [6] **M.Sandali**, «Etude dynamique et thermique d'un capteur solaire à air à double passe avec milieu poreux» Mémoire de magister-Université de Tlemcen (2014).
- [7] **F. Aissaoui**, «Contribution à l'étude du transfert de chaleur d'un capteur solaire placé dans un climat aride : cas de la région de Biskra.». Thèse de doctorat- Université de Biskra.
- [8] **S. Saadi**, «Effet des paramètres opérationnels sur les performances d'un capteur solaire plan». Mémoire de magister-Université de Constantine (2010).
- [9] **K. Aliane et M.A. Amraoui**, " Etude numérique d'un capteur solaire plan à air ayant une rugosité rectangulaire". Revue des Energies Renouvelables Vol. 16 N°1(2013) 129-141
- [10] **A.Khelifi**, «Conversion thermique de l'énergie solaire et application pour la production d'eau chaude sanitaire (ECS) ». Mémoire de master-Université de Annaba (2015).
- [11] **M.Amraoui**, « Etude numérique d'un capteur solaire plan à air Influence de la forme de la rugosité ». Mémoire de Magister (2012).
- [12]**H. Bentoumi**, «Etude numérique et expérimentale d'un capteur solaire thermique en Boussaâda». Mémoire de Master-Université de M'sila (2017).
- [13] **F.Kalla**, «Conversion thermodynamique de l'énergie solaire: Etude et modélisation d'un capteur solaire ». Mémoire de Magister - Université de Batna (2014).
- [14] **ch. Mahboub**, «Etude des phénomènes de transfert thermique dans les échangeurs de la chaleur destinés aux applications solaires ». Thèse de Doctorat- Université de Biskra (2016).
- [15] **L.Gherib**, «Etude et calcul des capteurs solaires plans "Application au chauffe-eau». Mémoire de Master-Université de Ouargla (2015).

[16] **M. M. DIARRA NDIAYE** «Optimisation des performances d'un capteur solaire à air et estimation des coefficients d'échange paroi-fluide». Thèse de Doctorat-Université de... France (2018).

[17] **M.Noun**, «Etude des paramètres impactant sur le rendement d'un capteur solaire ». Mémoire de Master-Université d'Annaba (2018).

[18] **F.Medjaoui, S. Belabbaci**, «Etude expérimentale et conception d'un concentrateur cylindro-parabolique ». Mémoire de Master-Université de Tlemcen (2018).

[19] **S.M.Messouaf**, «Contribution à l'étude de la production d'eau chaude domestique par l'énergie solaire à l'aide de réflecteur cylindro-parabolique ». Mémoire de Magister-Université Boumerdès (2014).

69

[20] **Z. Chibi**, «Effet du refroidissement sur les performances des panneaux PV ». Mémoire de Master-Université de Tlemcen (2016).

[21] **H.bettache**, « Amélioration des performances de l'absorbeur du Concentrateur cylindro-parabolique ». Mémoire de Master-Université de Bejaia (2013).

[22] **A.Moussaoui et S.Derbal**, « Réalisation et étude d'un concentrateur solaire cylindro-parabolique. Utilisation de matériaux récupérés. ». Mémoire de Master-Université d' Oum El Bouaghi (2016).

[23] **A. Halouane**, «Modélisation du transfert radiatif dans les strates supérieures d'un module photovoltaïque ». Mémoire de Master-Université de Boumerdès (2017).

[24]**F.Bouhired**, « commande et contrôle d'un installation solaire thermique ». Mémoire de Magister-Université de Boumerdès (2004).

[25] **M. Belkacemi**, « Modélisation et Etude Expérimentation d'un Capteur Solaire non Vitré et Perforé ». Mémoire de Master-Université Tlemcen (2011).

[26] **N.Moummi**, « Cours énergies renouvelables ». Polycopié. Université de Biskra (2020).

[27] **A.Brahimi**, «Etude de performances d'un capteur solaire plan à eau ». Mémoire de Master-Université de Lorraine (2016).

[28] **F. Chabane**, « Modélisation des paramètres de la conversion thermique de l'énergie solaire », Thèse de Doctorat-Université de Biskra.

[29] **I.Tabet**, «Etude, Realisation et simulation d'un capteur solair ». Thèse de Doctorat-Université de Constantine (2016).

[30] **A.Iberraken et R. Alili**, « Modélisation Mathématique et Simulation de Capteurs Solaires ». Mémoire de Master- Université de Béjaia (2012).

[31]**K.Bouchouicha**, «Modélisation multispectrale des images satellitaire-Application : Quantification du bilan d'énergie Sol-Atmosphère ». Thèse de Doctorat-Université de Oran.

70

[32]**S.Mouhous-chaouchi**, « Etude statistique du rayonnement solaire sur un plan incliné ». Mémoire de Magister (2012).

[33] **N.Nadji**, «Étude des performances d'un capteur solaire plan à conversion thermique ». Mémoire de Master-Université d'Annaba (2018).

[34] **W.Derradji**, «Modélisation et simulation numérique du comportement thermique d'un capteur solaire plan à eau ». Mémoire de Master –Université de Skikda (2017).

[35] **R.Maouedj**, « Etude des performances d'un système hybride (photovoltaïque-eolien) pour la production de l'électricité. Application au site d'Adrar ». Thèse de Doctorat-Université de Tlemcen (2013).

[36] **M.Baissi**, « Etude théorique et expérimentale des paramètres de fonctionnement d'un capteur solaire plan ». Mémoire de Magister-Université de Biskra (2012).

[37] **A.Benkhefifa**, «Modélisation et expérimentation d'un capteur solaire plan à eau. Influence de l'intensité de l'éclairement solaire et de l'inclinaison du capteur solaire sur le rendement du capteur ». Mémoire de Master-Université Ouargla (2012).

RÉSUMÉ

Résumé

L'implantation d'un système solaire pour satisfaire à un besoin bien déterminé en un site donné ne doit se faire qu'après avoir estimé la productivité du système en fonction du gisement solaire local disponible réellement. La modélisation des paramètres intrinsèques et extrinsèques qui gouvernent le fonctionnement de ces systèmes constitue le sujet essentiel de ce travail. Cette étude rentre dans le cadre de la caractérisation des sites pour d'éventuelles applications de l'énergie solaire.

Mots clés : Capteur solaire, rayonnement, température, modèle.

Abstract

The installation of a solar system to meet a definite need in a given site should be considered only after the system's productivity as a function of local solar radiation actually available. The modeling of intrinsic and extrinsic parameters that govern the operation of sunstroke is the main subject of this work. This study is within the scope of the characterization of sites for possible applications of solar energy.

Key words: Solar collector, radiation, temperature, model.

ملخص

إن وضع نظام شمسي في موقع لتلبية احتياجات معينة لا تتم إلا بعد تقدير الطاقة الممكن استغلالها في الموقع وتحديد العوامل الذاتية والدخيلة التي تتحكم في اشتغال هذا النظام. الموضوع الأهم في هذا العمل هو التحقق من صحة النماذج النظرية المقترحة في سياق هذا العمل. هذه الدراسة تدخل في نطاق تحديد خصائص المواقع للتطبيقات المحتملة للطاقة الشمسية.

كلمات المفتاح : اللاقط الشمسي الحراري, الإشعاع الشمسي, إجمالي, درجات حرارة, نموذج