



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université De Ghardaïa

Faculté des Sciences et de la technologie

Département : Automatique et électromécanique



جامعة غرداية

كلية العلوم والتكنولوجيا

قسم : الآلية والكهر وميكانيك

Mémoire présentée en vue de l'obtention

Du diplôme de MASTER

En : Energies renouvelables

THEME :

Contribution à l'étude d'un nouveau système de rafraîchissement et de ventilation par une tour du vent couplée avec un échangeur géothermique et une cheminée solaire : cas de la cheminée solaire

Présentée par :

MELLAKH Lahcen

BEN BADA Abdallah

Encadré par :

AISSAOUI Faris

Composition du jury :

Président

Université de Ghardaïa

Examineur

Université de Ghardaïa

Examineur

Université de Ghardaïa

Année Universitaire : 2019/2020

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Dédicaces

💣 *Je dédie ce modeste travail : À mes parents, avec toute ma reconnaissance et ma gratitude pour leurs sacrifices.*

💣 *À toutes ma famille*

💣 *À tous mes enseignants chacun avec son nom*

💣 *À tous mes amis*

💣 *Mon binôme MELLAKH LAHCEN.*

Ben Bada Abdallah

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail

A mes chers parents

A mes frères et mes sœurs

A toute ma famille

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



Mellakh Lahcen

Remerciement

❖ *Je dois tout d'abord remercier ALLAH, pour m'avoir donné la santé et la force pour accomplir ce travail.*

❖ *Nous voulons exprimer notre gratitude à notre encadreur Mr. AISSAOUI FARIS pour avoir proposé et diriger ce travail. Son soutien, sa disponibilité et ses précieux conseils tout au long de cette recherche.*

❖ *Nous tenons à remercier tous nos enseignants qui nous ont assuré tout notre cursus, ainsi que les responsables de l'administration de la Faculté des Sciences et des technologies de l'Université de Ghardaïa.*

❖ *Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre travail en acceptant de l'examiner et de l'enrichir par leurs propositions.*

❖ *Enfin nos remerciements vont également à toutes les personnes qui ont, de près ou de loin, apporté aide et encouragement.*

Contribution à l'étude d'un nouveau système de rafraîchissement et de ventilation par une tour du vent couplée avec un échangeur géothermique et une cheminée solaire : cas de la cheminée solaire

Résumé

Notre travail sur les énergies renouvelables vise à introduire et étudier un nouveau système de rafraîchissement et de ventilation naturelle des bâtiments par tour éolienne, ainsi que l'échange de chaleur géothermique et une cheminée solaire. Dans ce travail de mémoire consiste à l'étude de simulation numérique des performances thermique d'un panneau solaire plan à air muni des chicanes (cheminée solaire). Les équations des bilans énergétiques ont été établies sur les différents composants des insolateurs (vitre, absorbeur, fluide caloporteur et la plaque inférieure). Les systèmes d'équations ont été résolus par la méthode des différences finies pour calculer les températures au niveau de chaque élément des capteurs.

Mots clés : Capteur solaire à air, transfert thermique, chicanes, modélisation, simulation numérique.

المساهمة في دراسة نظام تبريد وتهوية جديد بواسطة برج الرياح مقرونًا بتبادل الحرارة الجوفية ومدفأة شمسية: حالة المدخنة الشمسية

الملخص

يهدف عملنا في مجال الطاقة المتجددة إلى إدخال ودراسة نظام جديد للتبريد والتهوية الطبيعية للمباني بواسطة برج الرياح، بالإضافة إلى تبادل الحرارة الحرارية الأرضية ومدفأة شمسية. في هذا العمل من المذكرة يتكون من دراسة المحاكاة العددية للأداء الحراري من الطائرة الهواء لوحة شمسية مجهزة بحواجز (مدخنة الطاقة الشمسية). وأنشئت معادلات موازين الطاقة على المكونات المختلفة للاقط الشمسي الهوائي (الزجاج، اللوحة الماصة، السائل الحامل للحرارة واللوحة السفلية). تم حل أنظمة المعادلة بواسطة طريقة الاختلافات المحدودة لحساب درجات الحرارة على مستوى كل عنصر استشعار.

كلمات مفتاحية: شمسي هوائي، حواجز، التبادل الحراري، نمذجة رياضية، محاكاة عددية.

Contribution to the study of a new cooling and ventilation system by a wind tower coupled with a geothermal interchange and a solar fireplace: case of the solar chimney

Abstract

Our work on renewable energy aims to introduce and study a new system of cooling and natural ventilation of buildings by wind tower, as well as geothermal heat exchange and a solar fireplace. In this work of theses consists of the study of numerical simulation of the thermal performance of a solar panel air plane equipped with baffles (solar chimney). The equations of the energy balances were established on the different components of collector (glass, absorber, fluid and bottom plate). The equation systems were solved by the finite differences method to calculate temperatures at the level of each sensor element.

Keywords: Solar air collector, baffles, thermal transfer, modeling.

SOMMAIRE

Dédicaces	II
Remerciement	IV
Résumé	V
الملخص	VI
Abstract	VII
SOMMAIRE	VIII
Liste des figures et des tableaux	XIII
Nomenclature	XVIII
Introduction générale	1
Références	6

CHAPITRE I : Généralité sur les capteurs solaire et cheminée solaire

Introduction.....	8
I.1. Définition et principe d'un capteur solaire.....	8
I.2 Energie solaire thermique.....	8
I.3. Capteurs solaires thermiques.....	9
I.3.1. Capteurs solaires thermique à basse température.....	9
I.3.2. Capteurs solaires thermique à haute température.....	9
I.4. Principes de Capteurs solaires thermiques.....	9
I.5. Les avantages et inconvénients des capteurs solaires thermique	10
I.5.1. Les avantages.....	10
I.5.2. Les inconvénients	11
I.6. Les différents types des capteurs solaires thermiques.....	11
I.7. Description des capteurs solaires plans	11
I.7.1. Principe	11
I.7.2. Caractéristiques techniques	12

I.7.2.1. Partie avant (Les vitrages).....	13
I.7.2.2. Absorbeur	13
I.7.2.3. Isolation arrière	14
I.7.2.4. Le boîtier ou le coffre	14
I.7.2.5. Fluide caloporteur	14
I. 8. Paramètres régissant le fonctionnement d'un capteur solaires plan	15
I. 8.1. Paramètres externes	15
I. 8.2. Paramètres internes	15
I.9. Applications des capteurs solaires plans à air	15
I.9.1. Chauffages et climatisation des habitations	15
I.9.2. Le séchage	16
I.9.3. Production de l'énergie mécanique	17
I.10. Cheminée solaire	17
I.10.1. Effet de cheminée	18
I.10.2. Principe d'écoulement	18
I.10.3. Modes d'opérations d'une cheminée solaire	18
I.10.4. Les constituants d'une cheminée solaire	19
I.10.5. Principe de fonctionnement de la cheminée solaire	20
I.10.6. Types de cheminée solaire	21
I.10.6.1. Cheminée solaire verticale	21
I.10.6.2. Cheminée solaire inclinée	22
Conclusion	23
Références	24

CHAPITRE II : Gisement solaire

Introduction.....	27
II.1. Le soleil.....	27
II.2. La constante solaire.....	27
II.3. Aspects géométriques du rayonnement solaire.....	27

II.4. Mouvements de la terre.....	28
II.5. Coordonnées célestes	28
II.5.1. Coordonnées géographiques.....	28
II.5.2. Coordonnées horaires.....	29
II.5.3. Coordonnées horizontales	30
II.6. Géométrie des capteurs	31
II.6.1. Inclinaison β	31
II.6.2. La hauteur du capteur γ	31
II.6.3. Azimut du capteur α	32
II.7. Le temps solaire	32
II.7.1. Le Temps Solaire Vrai (T.S.V)	32
II.7.2 Le Temps Solaire Moyen (T.S.M)	32
II.7.3. Le Temps Universel (T.U).....	33
II.7.4. Le Temps Légal (TL)	33
II.8. L'éclairement solaire	33
II.8.1. Le rayonnement direct	34
II.8.2. Le rayonnement diffus	35
II .8.3. L'albédo (ρ)	36
II.9. Appareils de mesure du rayonnement solaire	36
II.9.1. L'héliographe.....	36
II .9.2. Le pyranomètre	37
II.9.3. Le pyrhéliomètre	38
II.10. Le grand Sahara Algérien (GSA)	39
Conclusion	40
Références	41

CHAPITRE III : Modélisation mathématique et résolution numérique

Introduction	43
III.1. Modélisation de l'insolateur.....	43

III.1.1. Méthode par tranche « pas à pas »	43
III.1.1.1. Capteur solaire à air avec vitre sans chicane	44
III.1.2. Méthode de résolution	45
III.1.3.1. Capteur solaire avec chicane rectangulaire placé sur la plaque inférieure	46
III.1.3.2. Capteur solaire avec chicane rectangulaire placé sur l'absorbeur	48
III.1.1.4. Capteur solaire à air avec des ailettes et des chicanes fixé sur la plaque absorbante	49
III.2. Modélisation des coefficients d'échange thermique	51
III.2.1. Transfert Conductif	51
III.2.2. Transfert Radiatif	52
III.2.3. Transfert Convectif	52
III.2.3.1. Transfert convectif dû au vent	53
III.2.3.2. Transferts convectifs dans le capteur	53
III.3. Les pertes thermiques	55
III.3.1. Pertes à l'arrière	55
III.3.2. Pertes à l'avant	55
III.4. Rendement thermique et l'énergie utile (récupéré par le fluide caloporteur)	55
III.5. Puissance absorbée	56
Conclusion	56
Référence	57

CHAPITRE IV : Résultats et discussions

Introduction	59
IV.1. Validation avec la littérature	59
IV.1.1. Capteur solaire simple passe et sans vitre et sans chicanes	59
IV.1.2. Capteur solaire à air avec vitre et sans chicanes	60
IV.1.3. Capteur solaire à air avec des ailettes et des chicanes fixé sur la plaque absorbante	60
IV.2. Etude paramétrique	61
IV.2.1. Validation avec ong et al[4] sans chicanes	67
IV.2.2. Avec chicanes	68

Conclusion70
Référence71

Conclusion Générale

Conclusion Générale72

A blue graphic element resembling a scroll or a banner, with rounded corners and a vertical strip on the left side that looks like a binding or a handle. The text is centered within this graphic.

Liste des figures et des tableaux

Liste des figures

Introduction générale

Figure : Schéma du système de climatisation, de chauffage et de ventilation de bâtiment4

Chapitre I

Figure (I. 1) : Schéma de principe d'un capteur solaire plan12

Figure (I. 2) : Capteur plan13

Figure (I. 3) : Chauffages et climatisation des habitations16

Figure (I. 4) : Schéma d'un système de séchage.....17

Figure (I. 5) : Exemple de cheminée solaire intégré sur le bâtiment17

Figure (I. 6) : Les trois modes de fonctionnement d'une cheminée solaire19

Figure (I. 7) : Cheminée solaire pour ventilation de bâtiment20

Figure (I. 8) : Le rayonnement dans la cheminée solaire21

Figure (I. 9) : Types de cheminée solaire selon l'ouverture d'entrée, et leur position pour la ventilation naturelle22

Figure (I. 10) : Installation d'une cheminée solaire inclinée22

Chapitre II

Figure (II.1) : Schématisation du mouvement de la terre autour du soleil.....28

Figure (II.2) : Les coordonnées géographiques.....29

Figure (II.3) : L'angle horaire(ω).....30

Figure (II.4) : Coordonnées horizontales.....31

Figure (II.5) : Différents composants de rayonnement.....34

Figure (II.6) : Définition des angles pour une surface plane élémentaire éclairée par le soleil	35
Figure (II.7) : Effet de l'inclinaison i sur la réception du rayonnement diffus.....	35
Figure (II.8) : Héliographe de Campbell.....	37
Figure (II.9) : Pyranomètre d'Eppley.....	38
Figure (II.10) : Pyranomètre muni d'un cache.....	38
Figure (II.11) : Pyrhéliomètre.....	39

Chapitre III

Figure (III.1) : Schémas représentatif des échanges énergétiques de capteur avec vitre	44
Figure (III.2) : Schéma électrique équivalent relatif à une section de l'insolateur	46
Figure (III.3) : Schéma montrant les dimensions de chicane et capteur solaire à air avec chicane placé sur la plaque inférieure	47
Figure (III.4) : Capteur solaire à air avec chicane sur l'absorbeur	49
Figure (III.5) : Schéma montrant les dimensions d'ailette et des chicanes fixées sur plaque absorbante d'un capteur solaire à air	51
Figure (III.6) : Capteur muni des chicanes rectangulaires	54

Chapitre IV

Figure (IV.1) : Variations de température le long du capteur solaire ($I_g=900\text{W/m}^2$, $m=0.132\text{Kg/s}$)	59
Figure (IV.2) : Variation de température de sortie en fonction du temps	60
Figure (IV.3) : Variation du rendement thermique en fonction de débit massique pour une valeur fixe du rayonnement solaire ($I_g=1100\text{ W/m}^2$)	61

Figure (IV.4) : Variation de la Température de sortie de l'air vs. Débit massique pour différentes largeurs de déflecteurs, pour $n = 5$, $L_{chic} = 0.1$ m et $I = 700$ W/m ²	62
Figure (IV.5) : Variation de la Température de sortie de l'air par rapport au débit massique pour diverses distances entre les chicanes. Pour $n = 5$, $W_{chic} = 0.03$ m et $I = 700$ W/m ²	63
Figure (IV.6) : Variation de la Température de sortie de l'air par rapport au débit massique pour divers nombres d'ailettes et de chicanes. Pour $L_{chic} = 0.1$ m, $W_{chic} = 0.03$ m et $I = 700$ W/m ²	64
Figure (IV.7) : Variation de la Température de sortie de l'air vs. Débit massique pour différentes largeurs de déflecteurs. pour $n = 5$, $L_{chic} = 0.1$ m et $I = 900$ W/m ²	65
Figure (IV.8) : Variation de la Température de sortie de l'air par rapport au débit massique pour diverses distances entre les chicanes. Pour $n = 5$, $W_{chic} = 0.03$ m et $I = 900$ W/m ²	66
Figure (IV.9) : Variation de la Température de sortie de l'air par rapport au débit massique pour divers nombres d'ailettes et de chicanes. Pour $L_{chic} = 0.1$ m, $W_{chic} = 0.03$ m et $I = 900$ W/m ²	67
Figure (IV.10) : Evolution de la température de chaque composant suivant longueur du collecteur	68
Figure (IV.11) : Variation de température de sortie en fonction du débit massique Variation de la Température de sortie de l'air vs. Débit massique pour différentes largeurs des chicanes	69
Figure (IV.12) : Variation de la température de sortie en fonction de la hauteur du canal	69
Figure (IV.13) : Variation de la Température de sortie par rapport au Gisement solaire pour divers sans chicane et nombres d'ailettes et de chicanes. Pour $n=5$, $L_{chic} = 0.1$ m, $W_{chic} = 0.03$ m et déférente Débit massique 0.03kg/s, 0.05 kg/s	70

Liste des tableaux

CHAPITRE II

Tableau (II.1) : Potentiel solaire en Algérie.....40

CHAPITRE IV

Tableau (IV.1) : Variation la température de sortie Réf[3] et du rendement thermique en fonction du débit massique $I= 700 \text{ W/m}^2$ 61

Tableau (IV.2) : Variation de l'énergie utile(Q_u), température de sortie (T_{fo}) et du rendement thermique (η) en fonction du débit massique $I= 900 \text{ W/m}^2$ 64

Tableau (IV.3) : Variation de la température (K) sans et avec chicanes en fonction de longueur de collecteur67

Tableau (IV.4) : Variation de Débit massique (kg/s) avec un déférentes largueur de chicanes68

Nomenclature

<u>Symbole</u>	<u>Désignation</u>	<u>Unité</u>
E	Énergie	J
I_c	La constante solaire	w/m ²
δ	La déclinaison	Degré
n_j	Le numéro du jour dans l'année	-
ω	L'angle horaire	Degré
h	La hauteur du soleil	Degré
a	L'azimut solaire	Degré
TSV	Le temps solaire vrai	Heure
TSM	Le Temps Solaire Moyen	Heure
TU	Le Temps Universel	Heure
TL	Le Temps Légal	Heure
A_p	Surface du capteur	m ²
A_f	Section de passage de l'air	m ²
A_{chic}	Surface totale des chicanes	m ²
$A_{chic b}$	Surface de la base des chicanes	m ²
A_{aillet}	Surface totale des ailettes	m ²
$A_{aillet b}$	Surface de la base des ailettes	m ²
C_p	Capacité thermique	J/kgK
V_f	Vitesse de l'air	m/s
D_h	Diamètre hydraulique	m
d	Profondeur de canal	m
h_r	Coefficient de transfert de chaleur par rayonnement	W/m ² K
h	Coefficient de transfert par convection forcée	W/m ² K
h_{nc}	Coefficient de transfert de chaleur par convection naturelle	W/m ² K
I_g	Gisement global	W/m ²
H_{aillet}	Hauteur des ailettes	m
k_{aillet}	Conductivité thermique de l'ailette	W/m K

K_{ins}	Conductivité thermique de l'isolant	W/m K
L	Longueur du collecteur	m
L_{chic}	La distance entre les chicanes	m
\dot{m}	Débit massique	kg/s
w	Largeur du collecteur	m
W_{chic}	Largeur de la chicane	m
Q_u	Energie utile	w
Q_s	Energie stockée	w
t_{ailet}	Épaisseur des ailettes	m
U_L	Coefficient de perte thermique	W/m ² K
U_b	Coefficient de perte de chaleur de fond	W/m ² K
V_v	Vitesse du vent	m/s

Symboles grecs

Définition

Unité

α	Coefficient d'absorption	-
τ	Transmissivité de vitre	-
η	Efficacité	-
σ	Constante Stefan Boltzmann	W/m ² .K ⁴
ε	Emissivité	-
ρ_f	Densité de l'air	kg/m ³
K_f	Conductivité thermique de l'air	w/m k
μ_f	Viscosité de l'air	kg/ms ²

Indices

Définition

f, f_i, f_s	Fluide, fluide initiale, fluide sortie
s	ciel
ailet	ailette
chic	chicane

Nombres adimensionnels

N_u	Nombre de Nusselt
R_e	Nombre de Reynolds

Introduction Générale

Introduction Générale

L'exploitation des sources d'énergies renouvelables et essentiellement la conversion de l'énergie solaire a connu depuis les années 1970 un regain d'intérêt considérable suite à la crise énergétique. Ainsi, étant une source renouvelable et nationale, l'énergie solaire permet d'une part de réduire la « dépendance énergétique » d'un pays. Etant une source peu polluante, elle permet d'éviter les atteintes à l'environnement occasionnées par le processus de production, de transport et de consommation des sources d'énergies conventionnelles d'autre part.

Aujourd'hui, le débat controversé sur l'utilisation de l'énergie solaire existe dans le monde entier et, sans aucun doute, beaucoup de tentative est effectuée pour cette question. Les systèmes thermiques solaires le sont généralement reconnu comme l'une des méthodes les plus efficaces à exploiter. L'énergie solaire Parmi ces systèmes les chauffe-air solaires, connus sous le nom de échangeurs de chaleur simples qui convertissent l'énergie solaire en énergie thermique. Énergie sont largement utilisés dans différentes applications telles que l'espace. Chauffage et séchage des cultures agricoles. En raison de défavorable. Propriétés thermo-physiques de l'air, le taux de transfert de chaleur entre. Plaque d'absorbeur et l'air libre est faible ce qui se traduit par une énergie plus faible. Efficacité des chauffe-air solaires d'où une performance différente des méthodes d'amélioration ont été suggérées pour améliorer le taux du transfert de chaleur entre la plaque d'absorbeur et l'air circulant. D'après à la littérature la performance des chauffe-air solaires peut être améliorée par l'utilisation de surfaces ondulées en utilisant des surfaces artificielles la rugosité dans le conduit d'air, la fixation des ailettes et la fixation des ailettes et des déflecteurs qui sont toutes des méthodes mentionnées sont généralement présentées comme les techniques d'amélioration des performances les plus prometteuses. Cependant ces stratégies en plus d'augmenter le transfert de chaleur vers l'air, ce qui peut être considéré comme un résultat souhaitable, entraînent une augmentation indésirable de la chute de pression en raison de l'augmentation de la friction. Ainsi, la conception des chauffe-air solaires doit être menée avec soin afin d'obtenir un taux de transfert de chaleur élevé et de faibles pertes par frottement lin et al[3]. A réalisé une étude paramétrique complète sur les performances thermiques de deux types de réchauffeurs d'air solaires à ondes croisées. Leurs résultats ont montré que l'utilisation de surfaces ondulées croisées permettait d'améliorer remarquablement l'efficacité thermique du chauffage par rapport à une simple plaque. Karim et Hawlader[2] a étudié la performance thermique des collecteurs solaires d'air v- ondulé et à ailettes. Ils ont conclu que le réchauffeur à air v-corrugué est le cas le plus efficace alors que le réchauffeur à air plat est le cas le moins

Introduction Générale

efficace. Ils ont également montré que le fonctionnement à double passage améliore l'efficacité du système et que cette amélioration est la plus importante dans le chauffage à plat et la moins importante dans le chauffage à v- ondulé en termes d'emploi de rugosité artificielle plusieurs rugosités[1].

L'utilisation de l'énergie solaire pour induire la ventilation a été pratiquée pendant des siècles. De nombreux exemples existent dans le monde entier, qui démontrent l'utilisation de l'énergie solaire pour produire l'effet de cheminée ventilation dans les bâtiments. La conception la plus commune du solaire cheminée pour la ventilation est avec un absorbeur vertical plus grand la limitation de cette disposition est qu'en hiver quand le soleil va vers le sud à une latitude relativement basse vers le sud l'absorbeur vertical capture une bonne quantité de rayonnement solaire mais pendant les jours d'été, le taux de ventilation diminue en raison d'une haute altitude du soleil incidence du rayonnement solaire une altitude plus élevée réduit l'incidence normale du rayonnement solaire sur la paroi de l'absorbeur vertical stratégiquement, dans les tropiques typiques conditions climatiques, la ventilation est plus importante en été mois par rapport aux mois d'hiver depuis qu'il aide à garder les bâtiments sont frais. Conceptuellement, les cheminées solaires inclinées sont similaires à cheminées solaires verticales. La seule différence est que l'absorbeur est incliné ou incliné à un angle approprié pour capturer le maximum rayonnement solaire possible avantage avec l'absorbeur vertical les cheminées, c'est qu'elles peuvent facilement être intégrées à la construction façades tandis que les absorbeurs inclinés ne peuvent pas être facilement intégré à n'importe quel niveau dans le bâtiment. Celles-ci sont normalement monté sur le toit, appelé aussi "Solaire du toit" Cheminées (RSC) pour les étages inférieurs dans les bâtiments à plusieurs étages, la cheminée solaire ne peut être utilisée que comme structure projetant sur face sud[1].

Les systèmes de climatisation, de chauffage et de ventilation des bâtiments sont responsables d'environ la moitié de l'énergie consommée dans les bâtiments. L'intégration efficace d'éléments passifs dans le bâtiment peut considérablement réduire le coût de la climatisation dans les bâtiments tout en maintenant le confort thermique. Les systèmes passifs sont des éléments tels que des cheminées solaires, des échangeurs géothermiques air-sol, des tours à vent... qui peuvent être intégrés au bâtiment pour produire une ventilation, un chauffage ou un refroidissement sans nécessiter de système mécanique.

Introduction Générale

Ce sujet a pour objectif de présenter et d'étudier un nouveau système de rafraîchissement et de ventilation naturelle des bâtiments par une tour du vent couplée avec un échangeur géothermique et une cheminée solaire.

Dans ce mémoire, on s'intéresse à l'élément 4 qui présente la cheminée solaire (capteur solaire plan à air) (voir figure 01), on va appliquer les équations du bilan énergétique dans la vitre, l'air et l'absorbeur pour déterminer la température et le débit massique de l'air dans la cheminée solaire en fonction d'irradiation solaire et l'inclinaison.

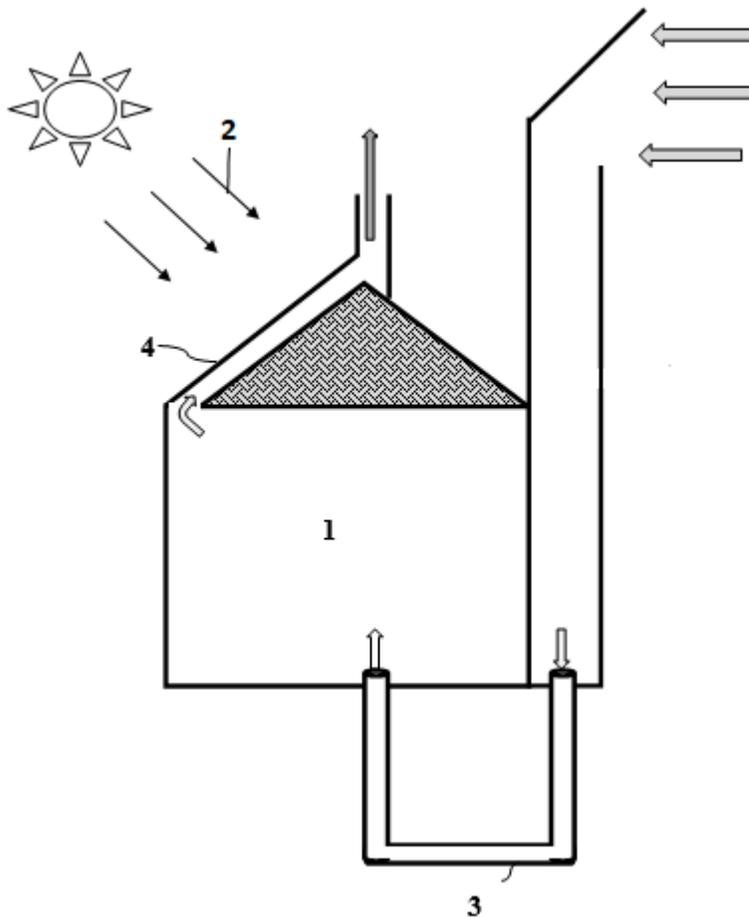


Figure01 : Cette figure représente un Schéma du système de climatisation, de chauffage et de ventilation de bâtiment

Le présent travail comporte quatre chapitres, il est rédigé selon le plan suivant :

- Le premier chapitre est consacré à une étude générale sur les capteurs solaire et cheminée solaire.

Introduction Générale

- Une étude théorique sur le gisement solaire feront l'objet du deuxième chapitre.
- Dans le troisième chapitre, nous présenterons les différentes équations gouvernant le fonctionnement du système en régimes permanent ainsi qu'une simulation numérique du comportement du système.
- Les principaux résultats obtenus et leurs interprétations font l'objet du quatrième chapitre.

En fin, le travail est achevé par une conclusion générale faisant apparaître l'intérêt du sujet et les perspectives recommandées.

Ce mémoire contient, certainement, des imprécisions et imperfections, des lacunes et éventuellement des erreurs. Nous accueillerons avec gratitude, toutes les appréciations, remarques, critiques et suggestions que les lecteurs voudront bien nous adresser, dans un esprit que nous souhaiterons constructifs.

Références

- [1] K. Mohammadi , M. Sabzpooshani., Comprehensive performance evaluation and parametric studies of single pass solar air heater with fins and baffles attached over the absorber plate, *Energy* 57 (2013) 741-750.
- [2] Karim MA, Hawlader MNA. Performance investigation of flat plate, v-corrugated and finned air collectors. *Energy* 2006;31:452e70.
- [3] Lin W, Gao W, Liu T. A parametric study on the thermal performance of cross-corrugated solar air collectors. *Appl Therm Eng* 2006;26:1043e53.

Chapitre I :
Généralité sur les
capteurs solaire et
cheminée solaire

Introduction

L'énergie solaire est l'énergie qui provient du rayonnement solaire, directement à travers l'atmosphère. Sur Terre, l'énergie solaire est à l'origine du cycle de l'eau, du vent et de la photosynthèse réalisée par le règne végétal, dont dépend le règne animal via les chaînes alimentaires. L'énergie solaire est donc à l'origine de toutes les énergies sur Terre à l'exception de l'énergie nucléaire, de la géothermie et de l'énergie marémotrice (mouvement des marées). L'utilisation de l'énergie solaire commence par sa conversion. On distingue deux catégories de système de conversion de l'énergie solaire : à conversion thermique où l'énergie solaire reçue par le plan du collecteur est entièrement transformée en énergie calorifique, et à conversion électrique dit aussi système photovoltaïque, où l'énergie solaire collectée sur le plan du récepteur est transformée en électricité [1].

I.1. Définition et principe d'un capteur solaire

Le capteur solaire transforme l'énergie du soleil – gratuite et disponible – en une énergie utile produisant de l'eau chaude ou de l'électricité.

Un capteur solaire ou panneau solaire est un élément d'une installation solaire destiné à recueillir l'énergie solaire pour le convertir en énergie thermique et le transférer à un fluide caloporteur (air, eau) ou en énergie électrique [2].

On distingue deux types de capteurs solaires :

1. Le capteur solaire thermique
2. Le capteur solaire photovoltaïque

I.2. Energie solaire thermique

Le solaire thermique actif permet de transmettre la chaleur du rayonnement solaire au sein d'un fluide, parfois de l'air, le plus souvent de l'eau, par la mise en œuvre des capteurs solaires. Ces techniques peuvent assurer la production d'eau chaude sanitaire ou d'eau distillée, le chauffage des piscines et des habitations ainsi que le séchage [3].

I.3. Capteurs solaires thermiques

Les capteurs solaires thermiques permettent la production d'énergie thermique à partir du rayonnement solaire. Ils sont composés d'un corps opaque qui absorbe le rayonnement solaire en s'échauffant, d'un système de refroidissement à l'aide d'un fluide caloporteur (air ou liquide), d'un isolant thermique latéralement et en sous-face, le plus souvent d'une couverture transparente (en face avant et exposée au rayonnement) qui assure l'effet de serre, et éventuellement d'un coffrage étanche à l'eau et d'un système de support mécanique de l'ensemble [3].

Les principaux types de capteurs solaires thermiques sont les suivants :

I.3.1- Capteurs solaires thermique à basse température :

- a- Capteurs plans de types vitrés
- b- Capteurs sous vide
- c- Capteurs solaires à passage retour
- d- Capteurs à plaque perforée sans vitrage
- e- Capteurs solaires à air
- f- Capteurs plans sans vitrage

I.3.2- Capteurs solaires thermique à haute température :

- a- Capteurs solaires intégrés
- b- Cuisinières solaires
- c- Capteurs solaires à circulation de liquide
- d- Systèmes de centrale à tour
- e- Capteurs solaires fixes à concentration
- f- Systèmes à réflecteur parabolique
- g- Systèmes à réflecteur cylindro-parabolique

I.4. Principes de Capteurs solaires thermiques :

Les capteurs solaires thermiques constituent le cœur des installations destinées à transformer l'énergie transmise par le soleil en chaleur.

Chapitre I : Généralité sur les capteurs solaire et cheminée solaire

Le rayonnement solaire est absorbé par une surface noire, parcourue par un fluide caloporteur qui extrait l'énergie thermique et la transfère vers son lieu d'utilisation ou de stockage.

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

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

Ces différentes configurations conduisent à des types de capteurs distincts, dont les performances varient en fonction des domaines d'utilisation [4].

I.5. Les avantages et inconvénients des capteurs solaires thermique

I.5.1. Les avantages [5]:

- L'énergie solaire est renouvelable, disponible gratuitement et disponible en quantités colossales à l'échelle humaine. De plus, et contrairement à sa variante thermodynamique, l'énergie thermique classique peut être utilisée dans les régions d'ensoleillement moyen.
- En phase d'exploitation, le processus de production de l'énergie thermique n'a pas d'impact sur l'environnement. Il n'y a pas de rejets de polluants ou de déchets.
- Les technologies de la technologie solaire thermique directe et indirecte sont simples et relativement peu coûteuses. Ce sont des technologies matures d'ores et déjà disponibles sur le marché.
- Il est possible de stocker temporairement la chaleur créée et de les restituer plus tard, pendant la nuit par exemple.

Chapitre I : Généralité sur les capteurs solaire et cheminée solaire

- Les installations thermiques sont adaptées à la majorité des contextes domestiques. C'est-à-dire qu'il est possible de valoriser la chaleur du rayonnement solaire dans tous les lieux, mêmes isolés, à partir du moment où celui-ci est suffisant.

I.5.2. Les inconvénients [5] :

- La production de chaleur est tributaire des saisons et des climats. De plus, des capacités de chauffage d'appoint restent nécessaires.
- Les technologies thermiques à faible température ne produisent pas d'électricité, et ne peuvent par conséquent pas répondre à ces besoins (mais peuvent satisfaire des besoins de chaleur).

I.6. Les différents types des capteurs solaires thermiques :

Les capteurs solaires sont caractérisés par leur mouvement (stationnaire, à poursuite simple et à poursuite double) et par leur température opératoire. Les capteurs stationnaires ont une position fixe et ne suivent pas la position du soleil dans le ciel. On en distingue trois types [6] :

- Capteur plan
- Capteur parabolique compose
- Capteur à tube sous vide

I.7. Description des capteurs solaires plans

I.7.1. Principe

Le rôle d'un capteur solaire thermique est de transformer le rayonnement solaire qu'il reçoit en énergie calorifique utilisable.

Le plus souvent par l'intermédiaire d'un fluide caloporteur (eau, air, ...). Le schéma de principe d'un capteur solaire plan est donné sur la Figure (I.1)

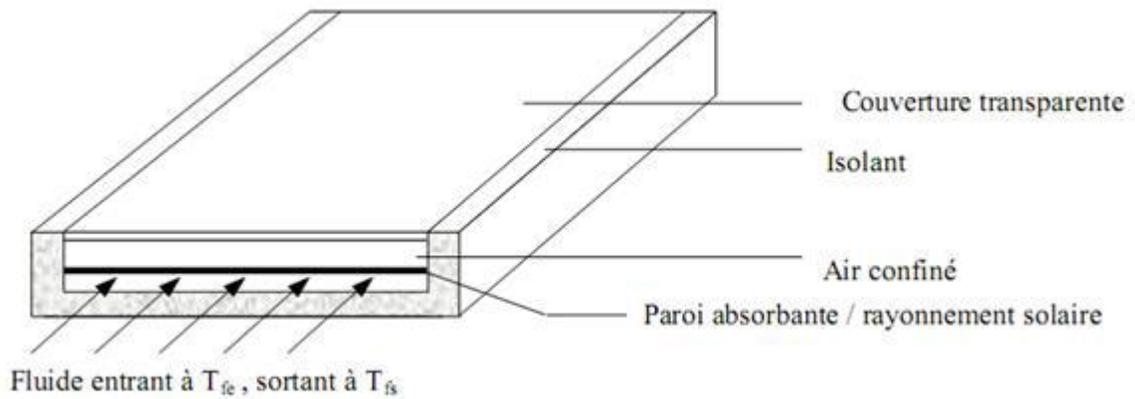


Figure (I.1) : schéma de principe d'un capteur solaire plan [7].

La paroi absorbante s'échauffe sous l'effet de l'absorption du rayonnement solaire incident. Le fluide qui circule sous cette paroi récupère par convection une partie de cette énergie absorbée et subit une élévation de température $T_{fs} - T_{fe}$ à la traversée du capteur [7].

I.7.2. Caractéristiques techniques

Un capteur solaire plan est composé :

- D'un caisson.
- D'un isolant permettant de limiter les fuites thermiques en sous face et sur les bords.
- D'un film réfléchissant.
- D'un faisceau de tubes cylindriques.
- Une surface absorbante placée à l'intérieur du coffre.
- Un vitrage fixé sur le caisson.

Les tubes sont parcourus par un fluide caloporteur (eau, air, ...). Cette eau se réchauffe au fil de l'écoulement dans les tubes.

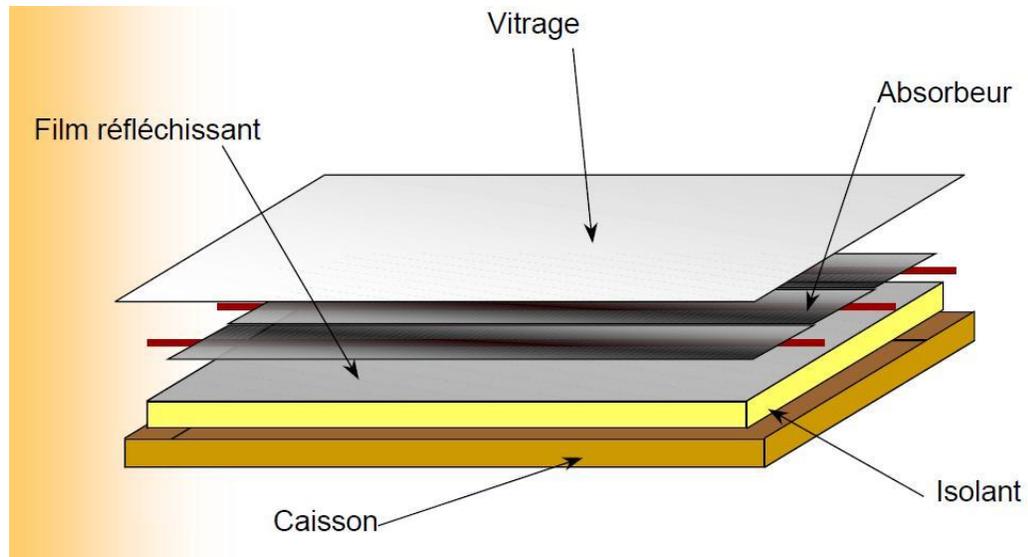


Figure (I.2) : Capteur plan [8]

I.7.2.1. Partie avant (Les vitrages)

Ce sont les couvertures transparentes au rayonnement solaire mais opaques au rayonnement infrarouge de grande longueur d'onde émis par l'absorbeur (effet de serre). Ils sont en général en verre de faible teneur d'oxyde de fer, parfois en plastique, mais celui-ci vieillit mal sous l'action des ultra-violets. En général on ne dépasse pas deux vitrages car au-delà le gain obtenu sur les pertes thermiques est compensé par les pertes de réflexion et réfraction.

Les vitrages ont une épaisseur de 4mm environ et sont situés à 25 ou 40mm de l'absorbeur et munis de joints d'étanchéité au niveau du boîtier. Cette couverture doit assurer trois fonctions essentielles [9]:

- Recevoir le maximum du rayonnement incident sans réflexion ni diffusion importante.
- Transmettre la plupart du rayonnement reçu.
- S'opposer aux déperditions thermiques par convection et rayonnement.

I.7.2.2. Absorbeur

C'est au niveau de laquelle s'effectue la conversion thermique. Il transforme le rayonnement solaire en chaleur et échange celle-ci avec le fluide caloporteur. Il est par conséquent l'organe principal du capteur. Il doit assurer les fonctions suivantes [9]:

- Absorber la plus grande partie du rayonnement incident.
- Transmettre la chaleur produite par cette absorption vers le fluide caloporteur.

Chapitre I : Généralité sur les capteurs solaire et cheminée solaire

- N'accepter que le minimum d'échanges thermiques vers l'extérieur pour rendre efficace cette partie.

I.7.2.3. Isolation arrière

Elle est généralement constituée d'une couche isolante, qui diminue les pertes par convection et ralentit ainsi le refroidissement de la face opposée au rayonnement solaire. Elle est montée directement sur le fond et les parois du bâti. Elle doit être opaque au rayonnement infrarouge de grande longueur d'onde émis par l'absorbeur. Elle permet de calorifuger le système. Le choix du matériau doit assurer les qualités essentielles suivantes [9]:

- Une faible conductivité thermique
- Une faible densité
- Une bonne résistance dans toute la plage de températures auxquelles il peut être soumis.
- Une chaleur massique basse.

I.7.2.4. Le boîtier ou le coffre

Permet l'assemblage des différents éléments du capteur. Il doit assurer une protection efficace contre les agents atmosphériques [9].

I.7.2.5. Fluide caloporteur

À pour rôle de véhiculer la chaleur entre l'absorbeur pour l'utilisation ou le stockage.

Le fluide caloporteur doit satisfaire aux conditions [9]:

- Faible viscosité et point de coulée aussi bas que possible.
- Haut point d'ébullition et bas point de congélation.
- Inertie chimique vis à vis des matériaux de l'installation.
- Tension de vapeur aussi basse que possible.
- Pertes de charge faibles.
- Coefficient de transfert thermique élevé.
- Grande capacité calorifique et toxicité faible.
- Stabilité physique et chimique dans les conditions d'emploi et de stockage.

I.8. Paramètres régissant le fonctionnement d'un capteur solaires plan [10]

On peut les classer en deux catégories :

I. 8.1. Paramètres externes

- Paramètres d'ensoleillement : éclairement, position du soleil, durée d'insolation.
- Température extérieure sèche.
- Vitesse du vent sur le capteur.

I. 8.2. Paramètres internes

On distingue :

a) paramètres géométriques :

- paramètres de position : inclinaison, orientation du capteur.
- La surface du capteur

b) paramètres de fonctionnement :

- température d'entrée du fluide caloporteur.
- le débit du fluide caloporteur.
- la température des différentes parties du capteur.

I.9. Applications des capteurs solaires plans à air :

Plusieurs applications de l'énergie solaire captée par des capteurs solaires plans à air sont utilisées.

I.9.1. Chauffages et climatisation des habitations

Le principe est présenté sur la Figure I.3, consiste à chauffer le fluide dans le capteur solaire, l'air est véhiculé par ventilateur vers des points d'utilisations [11].

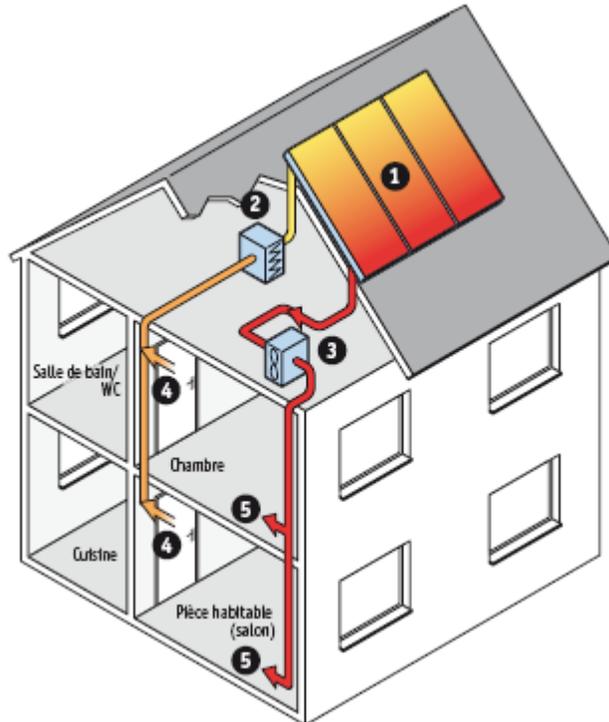


Figure (I.3) : Chauffage et climatisation des habitations [11].

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

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

I.9.2. Le séchage

Utilisation des capteurs solaire à air pour le séchage des récoltes est idéale dans le cas du thé, du café, des fruits, des fèves, du riz, des épices, du caoutchouc, du cacao et du bois [11].

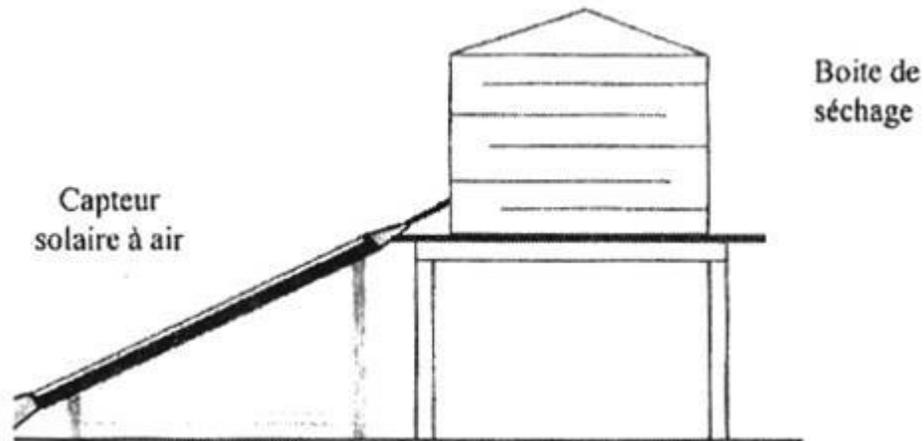


Figure (I.4) : Schéma d'un système de séchage [11].

I.9.3. Production de l'énergie mécanique

Dans les pays arides, ou dans les régions - isolées, il peut être très intéressant de réaliser des installations à partir d'une machine solaire, soit pour pomper l'eau, soit pour une production d'électricité.

On peut utiliser un moteur à air chaud dont le principe est le suivant l'air atmosphérique est comprimé dans un cylindre par un piston et chauffé par l'intermédiaire d'un capteur à air.

L'air chauffé, en se détendant, pousse le piston. Celui-ci en revenant comprime l'air dont le reste de chaleur est évacuée à une source froide ; et ainsi de suite [9].

I.10. Cheminée solaire

La cheminée solaire a une structure et un mécanisme de fonctionnement semblable au mur trombe. La différence distincte entre les deux, est que le mur trombe absorbe l'énergie solaire, et le recyclage d'air chaud résulte le chauffage passif du bâtiment. La cheminée solaire fournit au bâtiment la ventilation pendant le jour sans recyclage d'air dans la pièce.

Une cheminée solaire peut être un des composants d'un bâtiment, dans lequel un ou plus de murs d'une cheminée sont transparents, le mur vitré permet le rayonnement solaire s'accumuler assez de chaleur pour induire l'effet de cheminée. L'énergie solaire réchauffe l'air à l'intérieur de la cheminée. En raison de la différence de la température d'air, un gradient de densité entre l'intérieur et l'extérieur de la cheminée provoque un mouvement ascendant d'air [12].



Figure (I.5) : Exemple de cheminée solaire intégré sur le bâtiment [13].

I.10.1. Effet de cheminée :

L'effet de cheminée est la tendance d'un fluide qu'en s'échauffant s'élève, en raison de la diminution de sa densité, résultant des différences de la température et d'humidité. On utilise ce phénomène thermique naturel pour évacuer la surchauffe de l'intérieur d'une construction en facilitant la sortie de l'air tiède ou chaud à travers des ouvrants en partie haute. Ce tirage thermique peut induire une dépression intérieure susceptible d'aspirer l'air plus frais du dehors à travers des ouvrants en partie basse [12].

I.10.2. Principe d'écoulement

L'écoulement est provoqué par la différence de masse volumique entre l'air intérieur (chaud) et l'air extérieur (froid). L'air chaud possède une masse volumique plus faible que l'air froid et tend à monter. L'air froid est plus lourd et tend à rester au sol. L'air chaud et humide s'élève vers les cheminées et est remplacé par de l'air froid et sec. Les grandes surfaces des entrées de l'air assurent de faibles vitesses qui ne causent pas de stress aux occupants [12].

I.10.3. Modes d'opérations d'une cheminée solaire :

Trois modes d'opérations de la cheminée solaire, qui sont appropriés à chaque saison comme la figure (I.6) [12]

Chapitre I : Généralité sur les capteurs solaire et cheminée solaire

- Cas de chauffage : la cheminée solaire fonctionne en mode de chauffage passif. L'air extérieur est entré dans la cheminée, et réchauffé par l'énergie solaire absorbée. L'entrée d'air chaud dans la salle contribue à la réduction d'une charge thermique.
- Cas de refroidissement avec la température d'extérieure est inférieure à la température d'air dans la pièce : la cheminée solaire peut fonctionner dans le mode de ventilation et le refroidissement passif. La fonction est identique à celle pour le refroidissement dans des régions froides ou de climats modérés, où les conditions extérieures en été ne sont pas dures.
- Cas de refroidissement est et la température d'extérieure est supérieur à la température d'intérieure : la cheminée solaire n'est pas employée pour augmenter la ventilation parce que l'introduction d'air extérieure sans pré réfrigéré résulte une augmentation de la température à l'intérieur. Par conséquent, l'air entre dans la cheminée est s'échapper vers l'extérieur par l'ouverture supérieur. Ce mode d'opération s'appelle l'isolation thermique, a un effet de la diminution d'un gain de la chaleur dans la salle par la cheminée solaire.

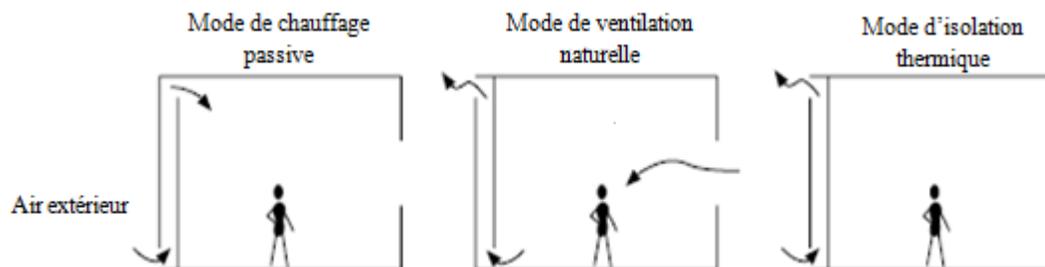


Figure (I.6) : Les trois modes de fonctionnement d'une cheminée solaire [12].

I.10.4. Les constituants d'une cheminée solaire

Les principaux composants de la cheminée solaire présentée sur la figure (I.7) sont :

- La couverture transparente (la vitre).
- L'absorbeur.
- L'isolation thermique sur les trois parois de la cheminée.
- Le coffre ou le cadre.

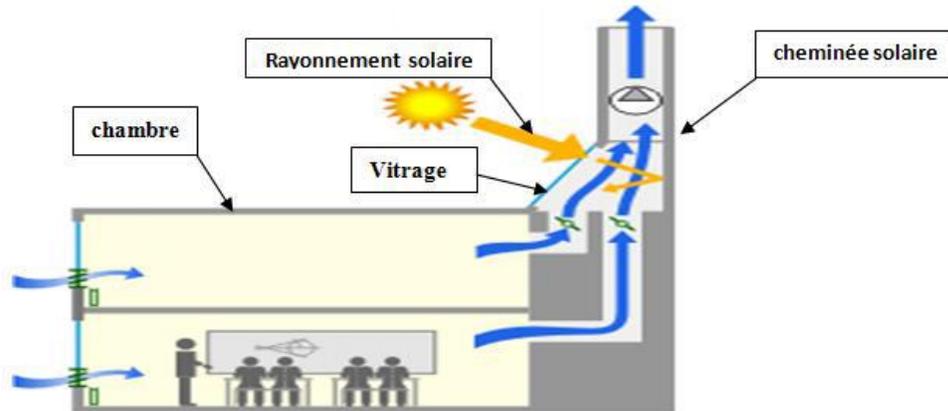


Figure (I.7) : Cheminée solaire pour ventilation de bâtiment [14]

I.10.5. Principe de fonctionnement de la cheminée solaire

Le rayonnement solaire incident atteint la surface de vitre, une partie de ce rayonnement solaire traverse la vitre et est absorbée par la surface de l'absorbeur figure I.8.

Celui-ci émet en retour un rayonnement infrarouge (de la chaleur) à l'intérieur de la cheminée. Cette énergie créera une différence de température entre l'absorbeur et la vitre.

L'air entre dans la cheminée, réchauffé par l'énergie solaire, sa densité diminue. L'air chaud est évacué par l'ouverture supérieure et remplacé par l'air froid entré par l'ouverture inférieure.

La différence de pression est la fonction de la hauteur effective de l'effet de cheminée et de la différence de masse volumique de l'air extérieur et l'air intérieur (la masse volumique de l'air est directement proportionnelle à la température). La hauteur effective de l'effet de la cheminée peut être considérée comme étant la distance verticale entre les ouvertures. On peut dire que la différence de la température crée un mouvement d'air ascendant appelé le tirage naturel ou ventilation naturelle [15].

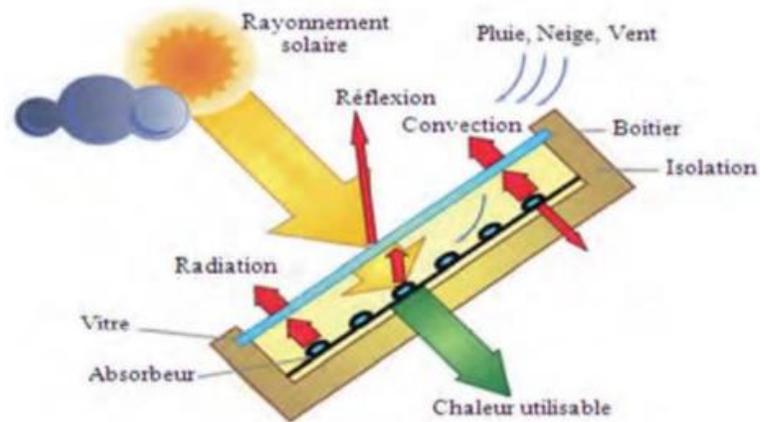


Figure (I.8) : Le rayonnement dans la cheminée solaire [15].

- 1 : Rayonnement solaire incident
- 2 : Rayonnement solaire transmis à travers la vitre vers l'absorbeur
- 3 : Rayonnement solaire réfléchi par la vitre vers l'extérieur
- 4 : Rayonnement infrarouge produit par l'absorbeur vers la vitre
- 5 : Rayonnement infrarouge transmis par la vitre vers l'extérieur
- 6 : Rayonnement infrarouge réfléchi par la vitre vers l'absorbeur

I.10.6. Types de cheminée solaire :

Actuellement, on peut distinguer deux types de cheminée

I.10.6.1. Cheminée solaire verticale :

Ce type est le plus rencontré, où l'entrée d'air se fait par l'ouverture au fond et la sortie par l'ouverture au-dessus. Par convention, trois types de cheminée sont dénotés selon l'admission (figure I.9). Le positionnement de l'ouverture d'admission représente trois manières possibles, d'intégrer La cheminée solaire dans un bâtiment pour la ventilation naturelle [15].

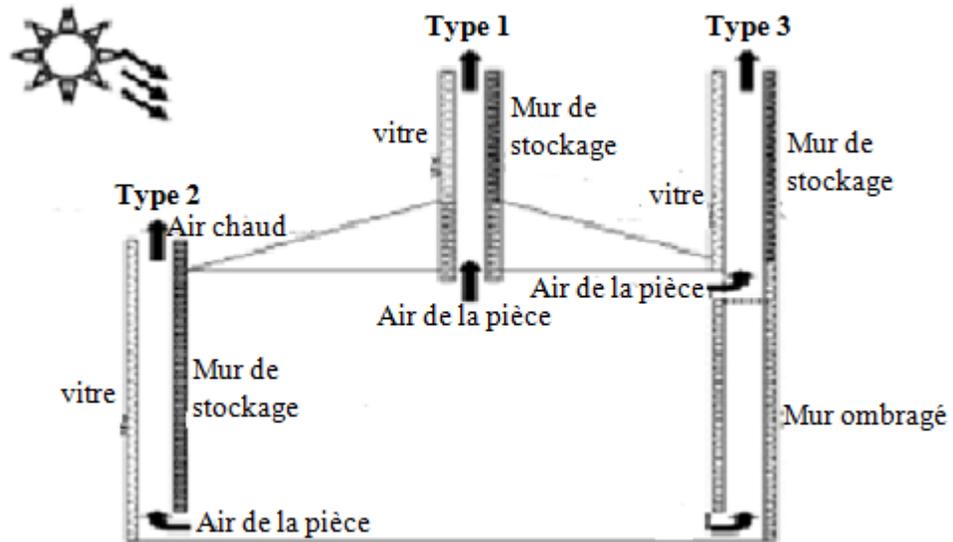


Figure (I.9) : Types de cheminée solaire selon l'ouverture d'entrée, et leur position pour la ventilation naturelle [15].

I.10.6.2. Cheminée solaire inclinée :

Conceptuellement, les cheminées solaires inclinées sont semblables aux cheminées solaires verticales. La seule différence est qu'elles sont intégrées d'une façon inclinée à un certain angle approprié, pour capturer le maximum de rayonnement solaire possible [15].

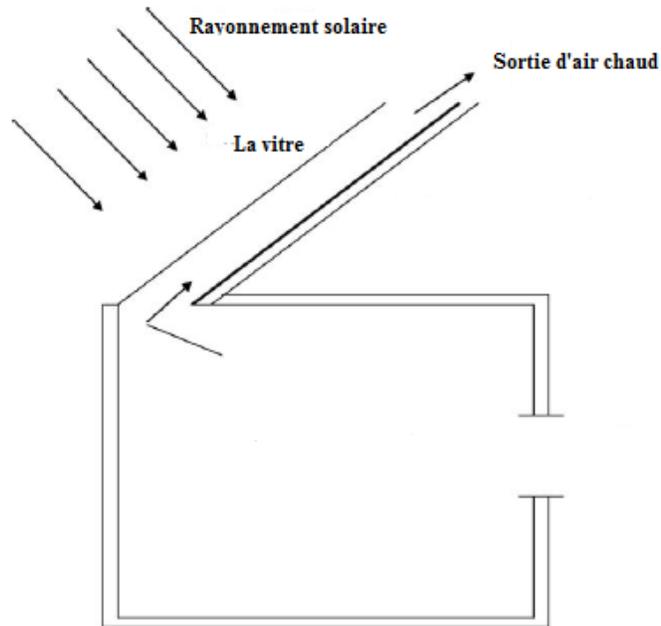


Figure (I.10) : Installation d'une cheminée solaire inclinée [15].

Chapitre I : Généralité sur les capteurs solaire et cheminée solaire

Conclusion

Dans ce chapitre une étude descriptive est présentée sur les capteurs solaires thermique, ses composants, les caractéristiques et les paramètres de fonctionnement. et généralité sur le cheminée solaire Principe de fonctionnement et les types.

Références

- [1] Najoua ZARAI1, Maher CHAABANE1 and Slimane GABSI2 " Outil de planification de la production thermique des capteurs solaires " November 5-7, 2010 – Sousse, Tunisia
- [2] <https://www.climamaison.com/lexique/capteur-solaire.htm>
- [3] Kalla fayçal " Conversion thermodynamique de l'énergie solaire : Etude et modélisation d'un capteur solaire ". Mémoire magistère en génie mécanique. Université de Batna. 2015
- [4] André JOFFRE. " Énergie solaire thermique dans le bâtiment. Chauffe-eaux solaires " BE 9 164
- [5] <https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/solaire-thermique>
- [6] Khelifa Abdelkrim."Contribution à la conception et modélisation d'un capteur solaire hybride photovoltaïque thermique PVT ". Thèse de doctorat en physique. Université Hadj Lakhdar de Batna. 2017
- [7] Yves Jannot."Thermique solaire" Mars 2011.
- [8] http://www.solairethermique.guidenr.fr/I_capteur-solaire-thermique
- [9] LABED Adnane."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 doctorat en génie mécanique. Université Mohamed Khider – Biskra. 2012
- [10] M. Amjahdi, J. Lemale " Adopter le solaire –thermique et photovoltaïque". DUNOD Paris 2011.
- [11] Amraoui Mohammed Amine." Etude numérique d'un capteur solaire plan à air Influence de la forme de la rugosité" mémoire de magister en génie mécanique. Université Tlemcen. 2012
- [12] Nadia SAIFI" CONTRIBUTION A LA CONCEPTION DES BATIMENTS A FAIBLE CONSOMMATION D'ENERGIE DANS LES ZONES ARIDES" Thèse de doctorat en génie des proceds.Université kasdi merbah ouragla. 2016
- [13] <https://www.lemoniteur.fr/article/anma-cheminees-solaires>
- [14] <https://energieplus-lesite.be/etudes-de-cas/ventilation3/ecole-tanga>

Chapitre I : Généralité sur les capteurs solaire et cheminée solaire

[15] AKCHICHE Zineb." ÉTUDE DE COMPORTEMENT D'UNE CHEMINÉE SOLAIRE EN VUE DE L'ISOLATION THERMIQUE" mémoire de magister en génie des procédés. Université kasdi merbah ouragla. 2011.

Chapitre II :
GISEMENT
SOLAIRE

Introduction

L'énergie solaire est l'énergie transmise par le Soleil sous la forme de lumière et de chaleur. Cette énergie est virtuellement inépuisable à l'échelle des temps humains, ce qui lui vaut d'être classée parmi les énergies renouvelables .

L'Energie solaire est la plus dominante de toutes les énergies renouvelables, elle est a L'origine de la quasi-totalité des sources d'énergies utilisées par l'homme.

II.1. Le soleil

Le soleil est une sphère gazeuse composée presque totalement d'hydrogène.

Son diamètre est de 1391000 km (100 fois celui de la terre), sa masse est de l'ordre de 2.10^{27} tonnes. Toute l'énergie du soleil provient des réactions thermo – nucléaires qui s'y produisent.

Elles transforment à chaque seconde 564,106 tonnes d'hydrogène en $560,10^6$ tonnes d'hélium la différence (4 millions de tonnes) est dissipée sous forme d'énergie ($E=mc^2$), ce qui représente une énergie totale de 36.10^{22} KW. La terre étant à une distance de 150.10^6 km du soleil, elle reçoit approximativement une énergie de $1,8.10^{14}$ KW [1].

II.2. La constante solaire

La valeur de flux du rayonnement solaire "Ic", reçu par une surface perpendiculaire aux rayons solaires placée à la limite supérieure de l'atmosphère terrestre (soit à environ 80 Km d'altitude) varie au cours de l'année avec la distance Terre/Soleil. Sa valeur moyenne "I₀" appelée constante solaire est de l'ordre de 1354 W.m^{-2} . En première approximation, on peut calculer la valeur de "Ic" en fonction du numéro du jour de l'année "nj" par la relation suivante [1].

$$I_c = I_0[1 + 0.033 \times \cos (0.984 \times nj)] \text{ (II.1)}$$

II.3. Aspects géométriques du rayonnement solaire

Nous allons nous intéresser ici aux aspects géométriques du rayonnement solaire intercepté par la Terre dans le but ultérieur de calculer le flux reçu par un plan incliné placé à la surface de la

Chapitre II : GISEMENT SOLAIRE

Terre et orienté dans une direction fixée. La connaissance de ce flux est la base du dimensionnement de tout système solaire [1].

II.4. Mouvements de la terre

La trajectoire de la terre autour du soleil est une ellipse dont le soleil est l'un des foyers. Le plan de cette ellipse est appelé l'**écliptique**.

L'excentricité de cette ellipse est faible ce qui fait que la distance Terre/ Soleil ne varie que de $\pm 1,7\%$ par rapport à la distance moyenne qui est de $149\,675\,10^6$ km.

La Terre tourne également sur elle-même autour d'un axe appelé l'axe des pôles. Le plan perpendiculaire à l'axe des pôles et passant par le centre de la Terre est appelé l'**équateur**. L'axe des pôles n'est pas perpendiculaire à l'écliptique : l'équateur et l'écliptique font entre eux un angle appelé **inclinaison** et qui vaut $23^{\circ}27'$ [1].

Les mouvements de la Terre autour de son axe et autour du Soleil sont schématisés sur la figure (II.1).

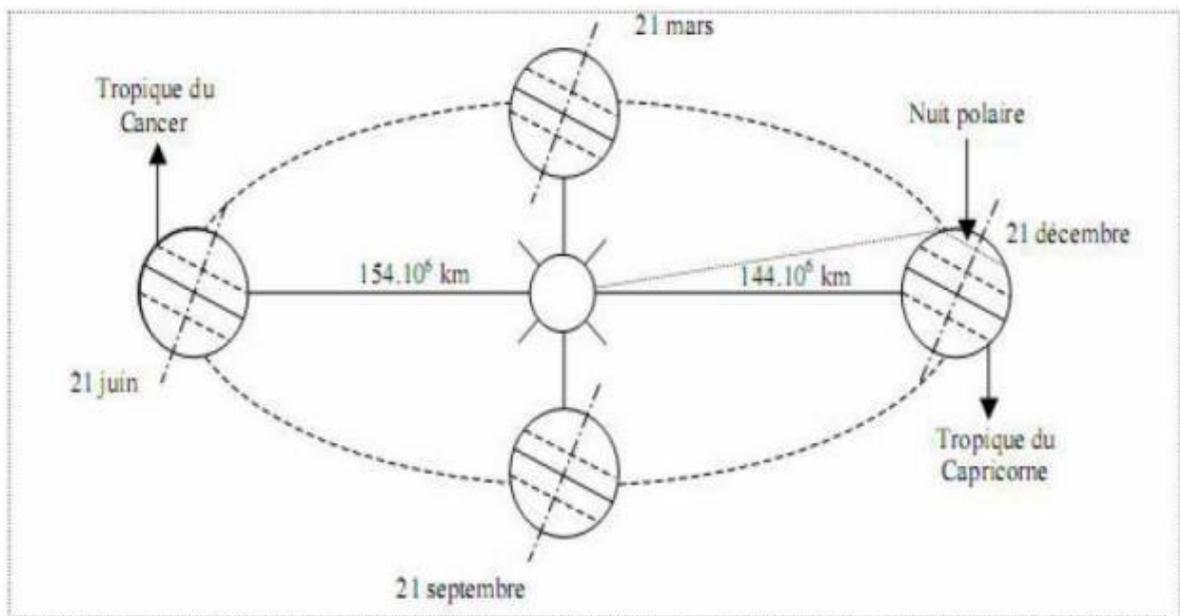


Figure (II.1) : Schématisation du mouvement de la terre autour du soleil [1].

II.5. Coordonnées célestes

II.5.1. Coordonnées géographiques [2]

Chapitre II : GISEMENT SOLAIRE

Sont des coordonnées angulaires qui permettent le repérage d'un point sur la terre (figure II.2).

a. La longitude (L) : est comptée positivement de 0° à $+180^\circ$ vers l'est et négativement de 0° à -180° vers l'ouest, à partir du méridien Greenwich.

b. La latitude (Φ) : permet de récupérer la distance angulaire d'un point quelconque à l'équateur. Elle est comptée positivement de 0° à $+90^\circ$ vers le nord et négativement de 0° à -90° vers le sud.

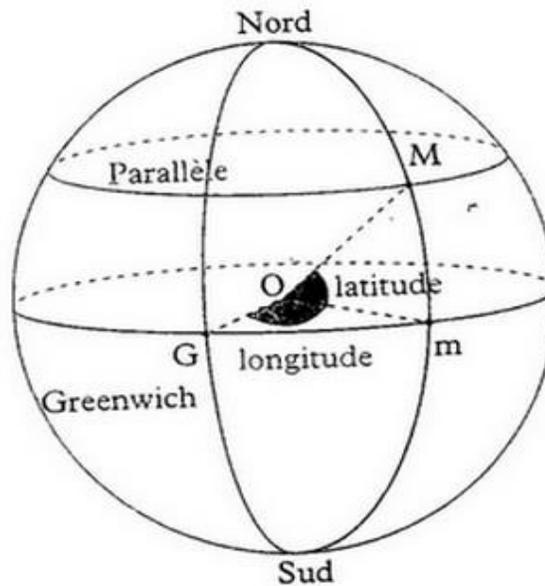


Figure (II.2) : Les coordonnées géographiques [3]

II.5.2. Coordonnées horaires [2]

a. La déclinaison (δ) : C'est l'angle formé par la direction du soleil et le plan équatorial terrestre. Cet angle varie au cours des saisons.

Elle est donnée par la formule suivante :

$$\delta = 23.45 \sin [(284 + nj)/365].360 \text{ [Degré]} \text{ (II.2)}$$

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

La déclinaison varie entre -23.45° (le 21 décembre) et $+23.45^\circ$ (le 21 juin).

b. L'angle horaire (ω) : du soleil est déterminé par la rotation diurne de la terre autour de son axe. C'est la mesure de l'arc de trajectoire solaire compris entre le soleil et le plan méridien du lieu. Exprimé en $^\circ$ d'angle. $\omega = 15(\text{TSV} - 12)$ où TSV est le temps solaire vrai exprimé en heures.

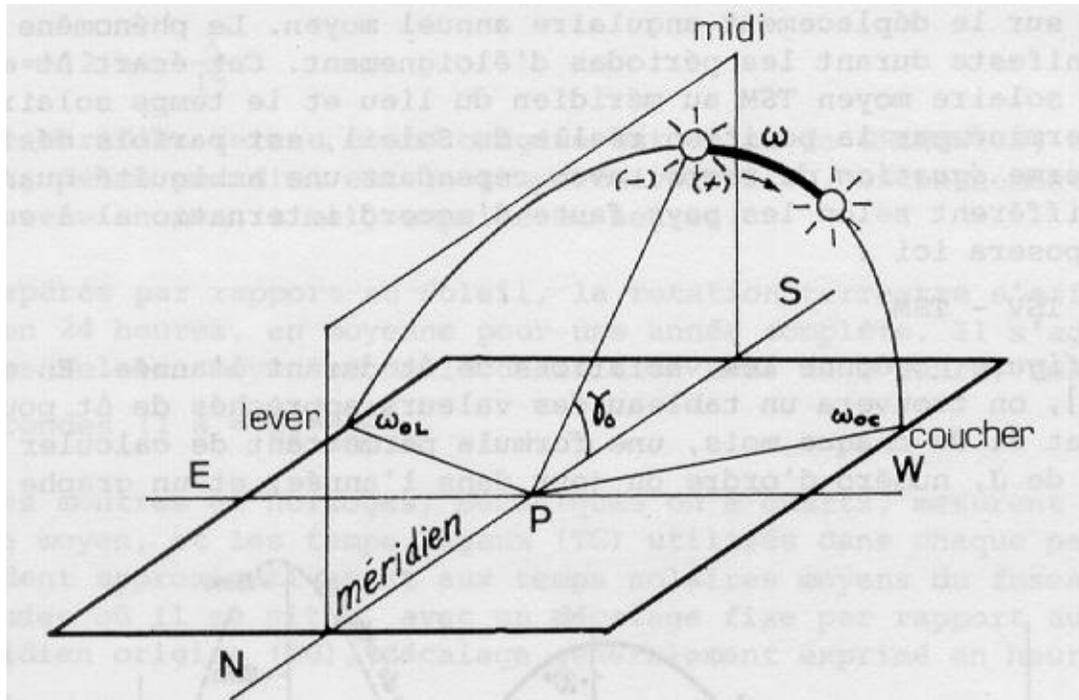


Figure (II.3) : L'angle horaire(ω) [2]

La valeur de l'angle est nulle à midi solaire, négative le matin, positive en après-midi et augmente de 15° par heure (donc un tour de 360° en 24 heures).

II.5.3. Coordonnées horizontales

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

a. La hauteur (h) : C'est l'angle h formé par le plan horizontal au lieu d'observation et la direction du soleil (figure II.4).

Il est donné par la relation :

$$\sin(h) = \cos(\delta)\cos(\varphi)\cos(\omega) + \sin(\varphi)\sin(\delta) \quad (\text{II.3})$$

b. L'azimut (a) : C'est l'angle a compris entre le méridien du lieu et le plan vertical passant par le soleil.

La connaissance de l'azimut est indispensable pour le calcul de l'angle d'incidence des rayons sur une surface non horizontale. L'origine des azimuts correspond à la direction du Sud dans l'hémisphère Nord. L'angle d'azimut est compté positivement vers l'Ouest (figure II.4).

L'azimut est relié à l'angle horaire, la hauteur et la déclinaison par la relation :

$$\sin a = (\cos \delta \cdot \sin \omega) / (\cos h) \quad (\text{II.4})$$

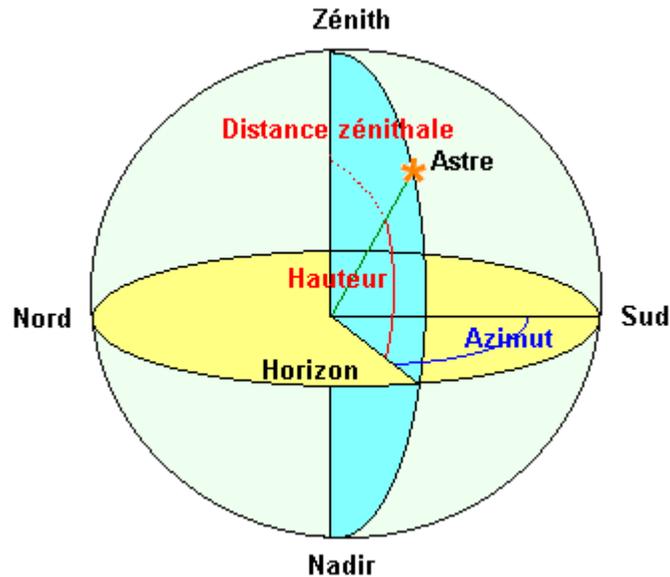


Figure (II.4) : Coordonnées horizontales [4].

II.6. Géométrie des capteurs [5]

II.6.1. Inclinaison β

L'inclinaison c'est l'angle que fait le capteur avec le plan horizontal. L'angle d'inclinaison d'un capteur est donné par : $\beta = 90 - \gamma$

- $\beta > 90^\circ$ Pour un plan tourné vers le bas.
- $\beta < 90^\circ$ Pour un plan tourné vers le haut.
- $\beta = 0^\circ$ Pour un plan horizontal tourné vers le bas.
- $\beta = 90^\circ$ Pour un plan verticale.

II.6.2. La hauteur du capteur γ

La hauteur du capteur est l'angle que fait la normale du capteur et sa projection sur le plan horizontal.

γ varie entre -90° et $+90^\circ$:

- $\gamma > 0$ Pour un plan tourné vers le haut.
- $\gamma < 0$ Pour un plan tourné vers le bas.
- $\gamma = 90^\circ$ Pour un plan horizontal tourné vers le haut.
- $\gamma = -90^\circ$ Pour un plan horizontal tourné vers le bas.

Chapitre II : GISEMENT SOLAIRE

- $\gamma = 0$ Pour un plan vertical.

II.6.3. Azimut du capteur α

C'est l'angle que fait la projection de la normale sur le plan horizontal et la direction du sud.

α varie entre -90° et $+90^\circ$:

- $\alpha > 0$ vers l'ouest.
- $\alpha < 0$ vers l'est.
- $\alpha = 0$ plan Sud.
- $\alpha = -90^\circ$ plan Est.
- $\alpha = 180^\circ$ plan Nord.
- $\alpha = +90^\circ$ plan Ouest.

II .7. Le temps solaire

II .7.1. Le Temps Solaire Vrai (T.S.V) [6]

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 :

$$\text{TSV} = 12 + \omega/15 \text{ (II.5)}$$

ω : En degré.

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

Si $\omega < 0$, la matinée.

Si $\omega > 0$, l'après-midi.

II.7.2. Le Temps Solaire Moyen (T.S.M) [6]

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

$$Et = \text{TSV} - \text{TSM} \text{ (II.6)}$$

Avec :

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

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

$$\text{Ou: } N' = (nj - 81)x360/365$$

Chapitre II : GISEMENT SOLAIRE

Où : n_j est le numéro du jour dans l'année.

II.7.3. Le Temps Universel (T.U) [6]

C'est le temps civil moyen du méridien de Greenwich (méridien origine) appelé encore **GMT** (Greenwich Mean Time).

$$TU = TSM - (L/15) \text{ (II.7)}$$

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.

II.7.4. Le Temps Légal (TL) [6]

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

$$TL = TU + \Delta H \text{ (II.8)}$$

Où :

ΔH : le décalage horaire entre le méridien de Greenwich et l'état considéré. $\Delta H = 1$ heure pour l'Algérie.

II .8. L'éclairement solaire [5]

L'éclairement correspond à la puissance solaire reçue par une surface plane élémentaire appelée capteur. On distingue l'éclairement dû aux rayons solaires directs et celui dû au rayonnement solaire diffusé par le ciel ou réfléchi par une surface (le sol, un mur...). Cet éclairement dépend de l'orientation de la surface par rapport au soleil. Les grandeurs seront calculées en W/m^2 .

Le flux solaire reçu au niveau du sol dépend des facteurs suivants :

- L'orientation, la nature et l'inclinaison de la surface terrestre.
- La latitude du lieu de collecte, de son degré de pollution ainsi que de son altitude.
- La période de l'année.
- L'instant considéré dans la journée.

Chapitre II : GISEMENT SOLAIRE

- La nature des couches nuageuses.

Pour des conditions d'éclairement solaire, il est impératif de pouvoir déterminer l'énergie Reçue sur le plan incliné du prototype. Au sol, on distingue plusieurs composantes.

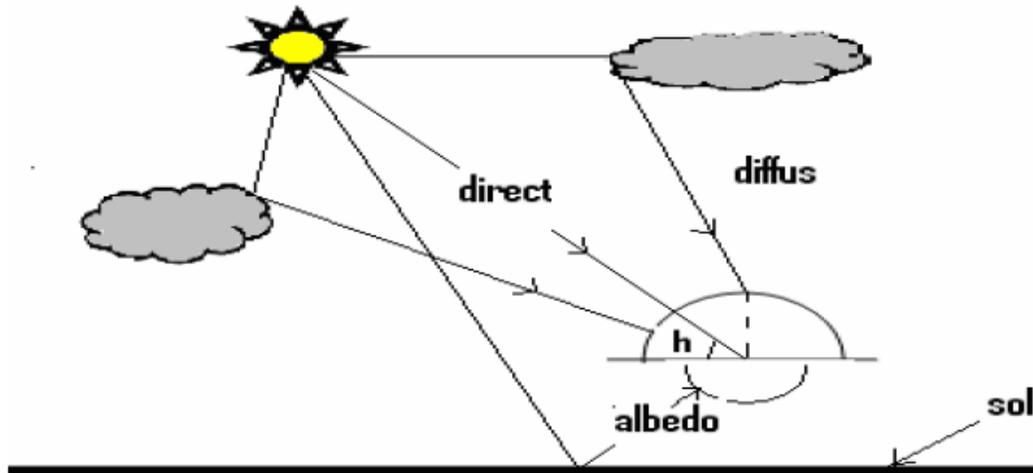


Figure (II.5) : Différents composants de rayonnement [5]

II.8.1. Le rayonnement direct [5]

Considérons un capteur élémentaire incliné d'un angle β par rapport à l'horizontale et orienté d'un angle γ par rapport au Sud. L'éclairement direct est la composante normale au capteur, de l'éclairement solaire I.

$$I_{dir} = I_{dir,N} \cos(\theta_i) \quad (II.9)$$

Où :

θ_i : angle d'incidence.

$I_{dir,N}$: est le rayonnement direct normal.

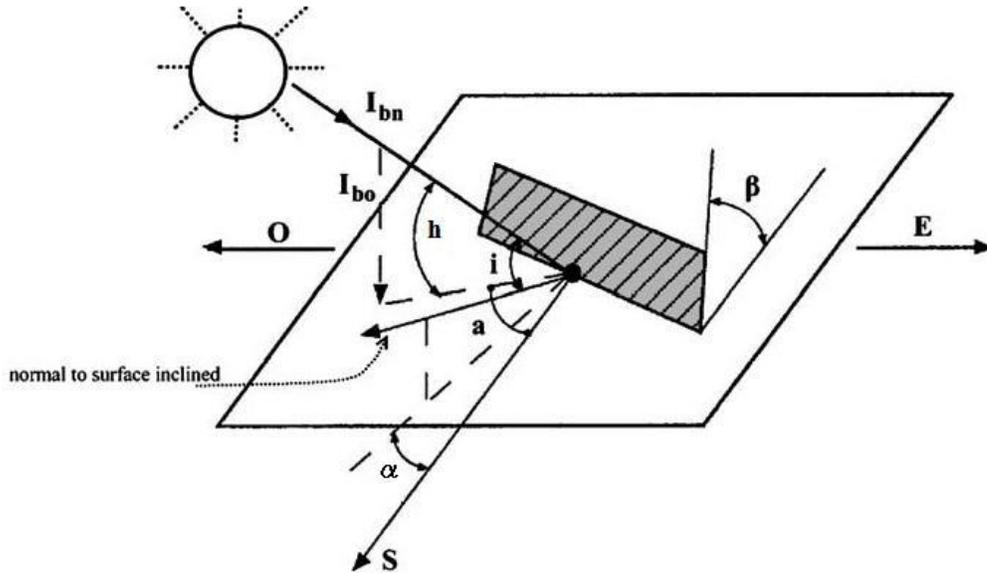


Figure (II.6) : Définition des angles pour une surface plane élémentaire éclairée par le soleil [5].

II.8.2. Le rayonnement diffus [5]

Lorsque le capteur est horizontal ($\beta = 0^\circ$) il reçoit le rayonnement diffusé par le ciel soit Dh . S'il est incliné d'un angle β , il "voit" moins de ciel mais par contre reçoit du sol une fraction de la quantité $\rho \cdot Gh$.

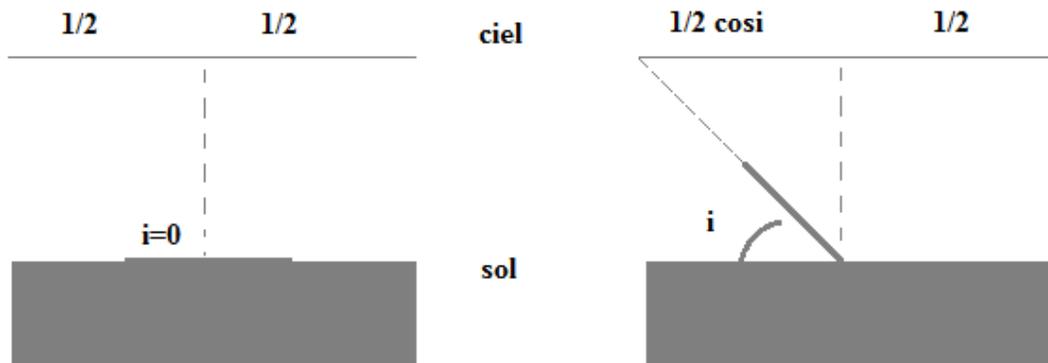


Figure (II.7) : Effet de l'inclinaison i sur la réception du rayonnement diffus [5].

La figure ci-dessus montre que la fraction de Dh reçue par le capteur en provenance du ciel s'écrit :

$$\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cos \beta = \frac{1}{2} (1 + \cos \beta)$$

Chapitre II : GISEMENT SOLAIRE

Quant à la fraction de $(\rho.Gh)$ en provenance du sol, elle s'écrit :

$$1 - \frac{1}{2}(1 + \cos\beta) = \frac{1}{2}(1 - \cos\beta)$$

Finalement on obtient :

$$D(\beta) = \left(\frac{1+\cos\beta}{2}\right)Dh + \left(\frac{1-\cos\beta}{2}\right)\rho.Gh \quad (\text{II.10})$$

β : Inclinaison du capteur [°].

ρ : Coefficient de réflexion de lumière diffuse du sol (albédo).

γ : Angle du capteur avec la direction Sud [°].

II .8.3. L'albédo (ρ) [5]

L'albédo du sol est le rayonnement qui est réfléchi par le sol ou par des objets se trouvant à sa surface. Cet albédo peut être important lorsque le sol est particulièrement réfléchissant (Eau, neige). Par définition, le corps noir possède un albédo nul.

$$L' \text{ albédo } Alb = \frac{\text{énergie réfléchie}}{\text{énergie reçue}} \quad (\text{II.11})$$

II.9. Appareils de mesure du rayonnement solaire

Le principe classique des mesures d'éclaircissements est l'effet thermoélectrique : un corps noir reçoit le rayonnement solaire, l'augmentation de sa température est mesurée par une série de couples thermoélectriques ; on enregistre donc une force électromotrice. Une mesure précise est toujours délicate d'autant plus que l'appareil est situé à l'extérieur [2].

II.9.1. L'héliographe

L'héliographe mesure les périodes de la journée pendant lesquelles l'intensité du rayonnement direct a dépassé un certain seuil. Tant que l'on peut observer des ombres sur le sol ($E > 120 \text{ W/m}^2$), les météorologistes parlent de radiation directe à laquelle est sensible l'héliographe. La somme de ces périodes représente la durée d'insolation journalière permettant de définir la fraction d'insolation. Dans l'héliographe de Campbell-Stokes, une sphère de verre concentre le rayonnement direct en un point qui brûle un papier spécial. En se déplaçant, le point brûlé décrit le mouvement apparent du soleil en traçant une courbe dont la longueur est proportionnelle à la durée d'insolation. L'héliographe de Jordan utilise du papier photographique.

Chapitre II : GISEMENT SOLAIRE

On utilise maintenant des héliographes automatiques constitués de cellules photovoltaïques disposées sur une bande cylindrique dont l'axe est perpendiculaire au plan de la trajectoire apparente du soleil. Un dispositif électronique totalise les intervalles de temps d'ensoleillement ; il faut veiller à ce que chaque héliographe ait le même seuil, c'est-à-dire l'éclairement direct minimal enregistré [2].

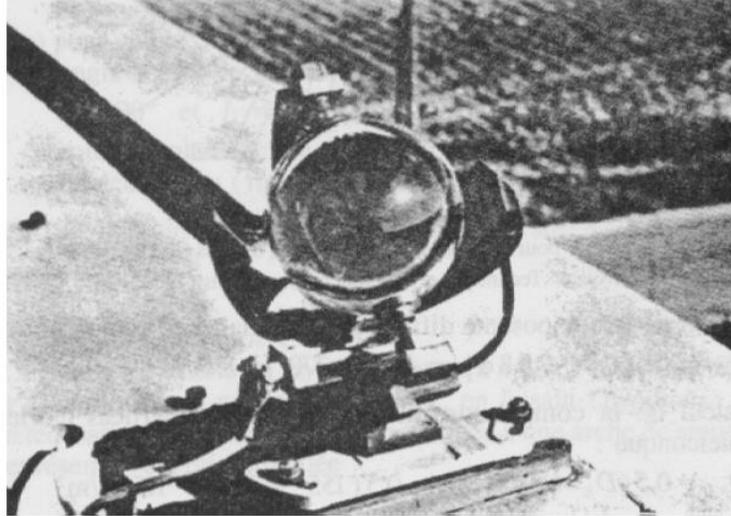


Figure (II.8) : Héliographe de Campbell [2].

II.9.2. Le pyranomètre

Les pyranomètres mesurent le rayonnement global (direct + diffus) de tout l'hémisphère céleste dans la bande de longueur d'onde 0,3 à 3 μm . Le pyranomètre d'Eppley est une thermopile adaptée à cet usage. La surface réceptrice comporte deux anneaux concentriques en argent l'anneau extérieur recouvert de blanc. La différence de température mesurée entre les deux anneaux par des thermocouples en contact thermique avec les surfaces intérieures des anneaux mais isolés électriquement, peut être enregistrée à raison d'une lecture par heure sous forme d'une tension de sortie de l'ordre du mV (en fait 10 $\mu\text{V}/\text{W}/\text{m}^2$).



Figure (II.9) : Pyranomètre d'Eppley [2].

Pour éliminer le rayonnement direct, certains pyranomètres sont munis d'un cache à orienter suivant la saison pour suivre la déclinaison [2].

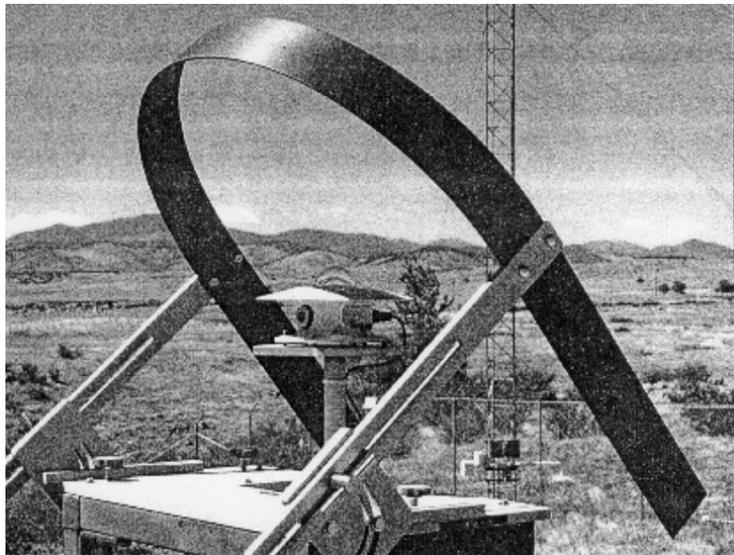


Figure (II.10) : Pyranomètre muni d'un cache [2].

II.9.3. Le pyréliomètre

Les pyréliomètres mesurent le rayonnement direct. Ils comportent une ouverture réduite et une surface réceptrice qui doit être maintenue normale au rayonnement pas un système de poursuite automatiques. La surface sensible est un disque d'argent noirci placé à la base d'un tube muni d'un obturateur et d'un diaphragme limitant l'angle d'ouverture à 5.7° (le diamètre apparent du soleil et de 0.5°). Le tube est fixé sur une monture équatoriale. On mesure la température du

Chapitre II : GISEMENT SOLAIRE

disque d'argent à intervalles réguliers en ouvrant et en occultant alternativement l'entrée de l'appareil [2].

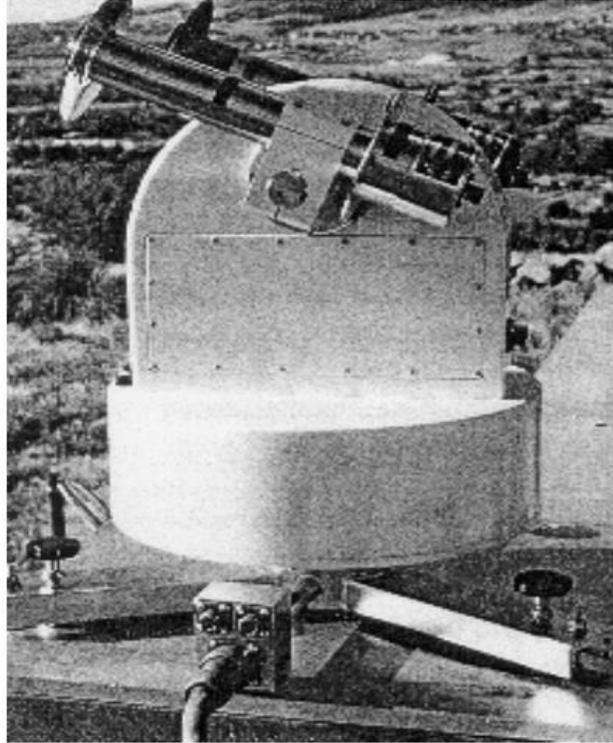


Figure (II.11) : Pyrhéliomètre [2].

II.10. Le grand Sahara Algérien(GSA) :

Selon l'agence spatiale Allemande, le potentiel d'énergies renouvelables est plus important dans le bassin méditerranéen.

Le territoire du GSA, les zones arides et semi-arides occupent plus de 90% de la superficie totale du pays (2381745 Km²). Le temps d'insolation sur presque la quasi-totalité du territoire excède 2500 heures par ans et peut atteindre jusqu'à 3900 heures par ans (Hautes plaines et Sahara) (Tableau II.1). Le potentiel solaire Algérien c'est 37 milliards de m³, c'est l'équivalent de 10 grands gisements de gaz naturel qui auraient été découverts à Hassi R'Mel [7].

Chapitre II : GISEMENT SOLAIRE

Tableau II.1 : Potentiel solaire en Algérie [7].

Aires	Littoral	Hauts plateaux	Sahara
Surface %	4	10	86
Temps d'ensoleillement (h/ans)	2650	3000	3500
Énergie reçue (KWh/m ² /an)	1700	1900	2650

Conclusion

Nous avons donné dans ce chapitre des généralités sur le rayonnement solaire et la Coordonnées géographiques, Coordonnées horaires, Coordonnées horizontales et la mesure de rayonnement solaire (les appareille de la mesure).

Ces différentes notions, définitions vont nous permettre d'introduire les différentes méthodes d'estimation du rayonnement solaire.

Chapitre II : GISEMENT SOLAIRE

Références

- [1] Yves Jannot. "Thermique solaire". Paris (2007).
- [2] Alain RICAUD. « Gisement solaire », Sept-2009, éditeur : Alain Ricaud, publiés par CYTHELIA sarl.
- [3] <https://www.ilemaths.net/sujet-latitude-longitude-et-mesures-de-distance-178141.html>
- [4] http://www.astrosurf.com/orion/France/Astro_Encyclopedie/definition.htm?fbclid=IwAR2LsliCf_qg45acLrW3fqPOuUZiO8uWsMjvKh66tOqljOPF5dReAyHZzd3A
- [5] Ben cheikh le hocine hanene. "Modélisation nanothermique des systèmes Thermo/Photovoltaïques Applications aux collecteurs hybrides PVT". Thèse doctorat. Université de constantine.(2017).
- [6] Pierre Henri Communay;" Héliothermiques; "Le gisement solaire Méthodes et calculs" Groupe de Recherche et d'Édition-2002.
- [7] Abdel-nasser chergui. "les énergies du futur en Algérie : Sécurité, Enjeux et Perspectives" Université Joseph Fourier de Grenoble. (Project_Maghreb-Europe).

**Chapitre III :
Modélisation
mathématique
et résolution numérique**

INTRODUCTION

Les capteurs solaires plans à air transforment le rayonnement solaire qu'il reçoit en énergie calorifique utilisable. Cette énergie est ensuite utilisée dans diverses applications à savoir ; le chauffage la réfrigération, le séchage, etc.

III.1. Modélisation de l'insolateur

Le bilan thermique d'un insolateur rapporté à l'unité de surface est :

$$I_g = Q_u + Q_p + Q_s \quad (\text{III.1})$$

Ce bilan se résume ainsi :

Le flux I_g reçu par l'insolateur représente la somme de l'énergie utile Q_u emportée par le fluide caloporteur, des déperditions thermiques Q_p par les différents modes de transfert vers le milieu ambiant et l'énergie stockée Q_s dans les différentes parties de l'insolateur.

Dans le cas du régime thermique permanent et pour les capteurs à air, la quantité d'énergie stockée dans les différentes parties de l'insolateur est négligeable, ce qui conduit à :

$$I_g = Q_u + Q_p \quad (\text{III.2})$$

Il existe deux méthodes de modélisation de l'insolateur :

1. Méthode par tranche « pas à pas ».
2. Méthode de résolution.

III.1.1. Méthode par tranche « pas à pas »

la méthode de modélisation « pas à pas » qui prend en compte l'évolution des températures de tous les éléments de l'insolateur en tranches fictives de longueur " δx " dans le sens de l'écoulement du fluide caloporteur et à écrire le bilan des échanges dans chaque tranche.

Il est commode pour cela d'utiliser le principe des analogies qui existent entre le transfert de chaleur et le transfert d'électricité.

III.1.1.1. Capteur solaire à air avec vitre sans chicane

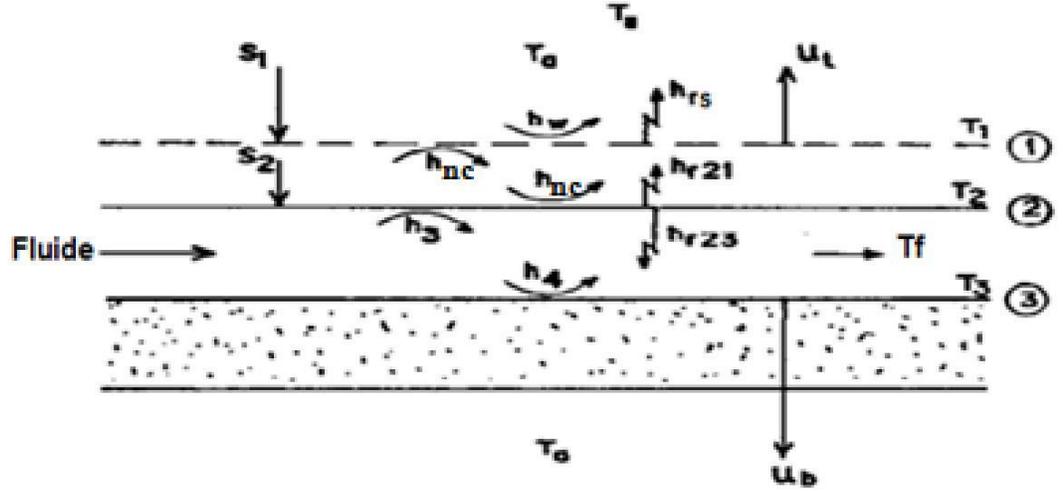


Figure (III.1) : Schémas représentatif des échanges énergétiques de capteur avec vitre.

a. Bilan énergétique au niveau du vitrage

$$S_1 + h_{r21} (T_2 - T_1) + h_{nc} (T_2 - T_1) + U_L (T_a - T_1) = 0 \quad , \quad S_1 = \alpha_1 I_g$$

$$(h_{r21} + h_{nc} + U_L) T_1 - (h_{r21} + h_{nc}) T_2 = S_1 + U_L T_a \quad (III.3)$$

b. Bilan énergétique à travers l'absorbeur

$$h_3 (T_2 - T_f) + h_{nc} (T_2 - T_1) + h_{r32} (T_2 - T_3) + h_{r21} (T_2 - T_1) = S_2 \quad , \quad S_2 = \tau \alpha_2 I_g$$

$$-(h_{nc} + h_{r21}) T_1 + (h_3 + h_{nc} + h_{r32} + h_{r21}) T_2 - h_3 T_f - h_{r32} T_3 = S_2 \quad (III.4)$$

c. Bilan énergétique du fluide

$$\dot{m} C_p \frac{dT_f}{w dx} = h_3 (T_2 - T_f) + h_4 (T_3 - T_f)$$

$$\Gamma_1 (T_{fi} - T_{f,i-1}) = h_3 (T_2 - T_f) + h_4 (T_3 - T_f) \quad , \quad \dot{m} C_p \frac{dT_f}{w dx} = \Gamma_1 (T_{fi} - T_{f,i-1})$$

$$h_3 T_2 - (h_3 + h_4 + \Gamma_1) T_{fi} + h_4 T_3 = -\Gamma_1 T_{f,i-1} \quad (III.5)$$

d. Bilan énergétique de la plaque inférieure

$$h_4 (T_3 - T_f) w dx + U_b (T_3 - T_a) w dx + h_{r32} (T_3 + T_2) w dx = 0$$

Chapitre III : Modélisation mathématique et résolution numérique

$$-h_{r32}T_2 - h_4T_f + (h_{r32} + U_b + h_4) T_3 = U_bT_a \quad (\text{III.6})$$

III.1.2. Méthode de résolution

Dans chaque section, la variation de température de l'air est approchée mathématiquement, par un gradient de température linéaire comme suit : $\frac{dT_f}{w dx} = \frac{(T_{fi} - T_{f,i-1})}{w dx}$.

L'élément différentiel de chaque section est approché par : $dA_p = w \times dx$

Le système d'équations pour les inconnues T_1 , T_2 , T_f et T_3 peut s'écrire sous forme matricielle suivant :

$$[A] \cdot [T] = [B]$$

Ce système d'équations est non linéaire car la matrice [A] et le vecteur [B] contiennent des coefficients dépendant des températures inconnues [T]. Pour pallier à ce problème, nous avons calculé ces coefficients en utilisant les températures de la section précédente. Une procédure itérative est utilisée le long du capteur pour calculer les températures dans chaque section.

$$\begin{bmatrix} (h_{r21} + h_{nc} + U_t) & -(h_{r21} + h_{nc}) & 0 & 0 \\ -(h_{nc} + h_{r21}) & (h_3 + h_{nc} + h_{r32} + h_{r21}) & -h_3 & -h_{r32} \\ 0 & h_3 & -(h_3 + h_4 + \Gamma_1) & h_4 \\ 0 & -h_{r32} & -h_4 & (h_4 + U_b + h_{r32}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_{fi} \\ T_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_1 + U_t T_a \\ S_2 \\ -\Gamma_1 T_{f,i-1} \\ U_b T_a \end{bmatrix}$$

Le réseau électrique correspondant à l'insulateur est représenté sur la Figure III.2

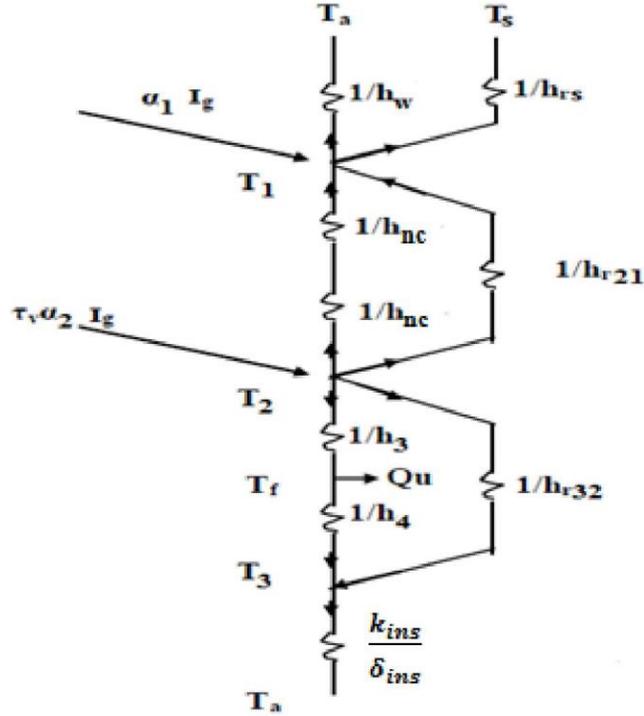


Figure (III.2) : Schéma électrique équivalent relatif à une section de l'insolateur.

III.1.3.1. Capteur solaire avec chicane rectangulaire placé sur la plaque inférieure

a. Bilan énergétique au niveau du vitrage

$$S_1 + (h_{r21} + h_{nc}) (T_2 - T_1) + U_L (T_a - T_1) = 0, \quad S_1 = \alpha_1 I_g$$

$$(h_{r21} + h_{nc} + U_L) T_1 - (h_{r21} + h_{nc}) T_2 = S_1 + U_L T_a \quad (III.7)$$

b. Bilan énergétique à travers l'absorbeur

$$h_3 (T_2 - T_f) + h_{nc} (T_2 - T_1) + h_{r32} (T_2 - T_3) + h_{r21} (T_2 - T_1) = S_2, \quad S_2 = \tau \alpha_2 I_g$$

$$-(h_{nc} + h_{r21}) T_1 + (h_3 + h_{nc} + h_{r32} + h_{r21}) T_2 - h_3 T_f - h_{r32} T_3 = S_2 \quad (III.8)$$

c. Bilan énergétique du fluide

$$\dot{m} C_p \frac{dT_f}{w dx} = h_3 (T_2 - T_f) + h_4 (T_3 - T_f) + \Omega h_3 (T_3 - T_f)$$

$$T_1 (T_{fi} - T_{f,i-1}) = h_3 (T_2 - T_f) + h_4 (T_3 - T_f) + \Omega h_3 (T_3 - T_f)$$

Chapitre III : Modélisation mathématique et résolution numérique

$$h_3 T_2 - (h_3 + h_4 + \Omega h_3 + \Gamma_1) T_{fi} + (h_4 + \Omega h_3) = -\Gamma_1 T_{f,i-1} \quad (\text{III.9})$$

Où Ω est le coefficient adimensionnel défini comme suit [1] :

$$\Omega = \frac{A_{chic}}{A_p - A_{chic b}} \eta_{chic} \quad (\text{III.10})$$

$$\dot{m} C_p \frac{dT_f}{w dx} = \Gamma_1 (T_{fi} - T_{f,i-1}) \quad (\text{III.11})$$

d. Bilan énergétique de la plaque inférieure

$$h_4 (T_3 - T_f) + U_b (T_3 - T_a) + h_{r32} (T_3 + T_2) + \Omega h_3 (T_3 - T_f) = 0$$

$$-h_{r32} T_2 - (h_4 + \Omega h_3) T_f + (h_{r32} + U_b + h_4 + \Omega h_3) T_3 = U_b T_a \quad (\text{III.12})$$

Le système d'équations est écrit sous forme de matricielles pour les inconnues T_1, T_2, T_f et T_3 :

$$\begin{bmatrix} (h_{r21} + h_{nc} + U_L) & -(h_{r21} + h_{nc}) & 0 & 0 \\ -(h_{nc} + h_{r21}) & (h_3 + h_{nc} + h_{r32} + h_{r21}) & -h_3 & -h_{r32} \\ 0 & h_3 & -(h_3 + h_4 + \Omega h_3 + \Gamma_1) & (h_4 + \Omega h_3) \\ 0 & -h_{r32} & -(h_4 + \Omega h_3) & (h_4 + U_b + h_{r32} + \Omega h_3) \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_{fi} \\ T_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_1 + U_L T_a \\ S_2 \\ -\Gamma_1 T_{f,i-1} \\ U_b T_a \end{bmatrix}$$

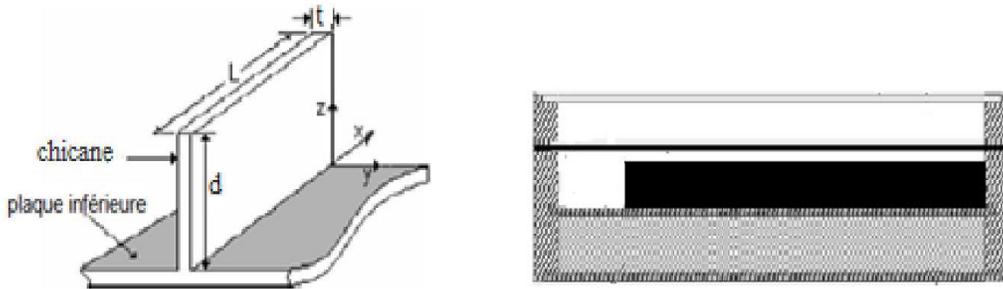


Figure (III.3) : Schéma montrant les dimensions de chicane et capteur solaire à air avec chicane placé sur la plaque inférieure.

III.1.3.2. Capteur solaire avec chicane rectangulaire placé sur l'absorbeur

a. Bilan énergétique au niveau du vitrage

$$S_1 + (h_{r21} + h_{nc}) (T_2 - T_1) + U_L (T_a - T_1) = 0 \quad , S_1 = \alpha_1 I_g$$

$$(h_{r21} + h_{nc} + U_L) T_1 - (h_{r21} + h_{nc}) T_2 = S_1 + U_L T_a \quad (III.13)$$

b. Bilan énergétique à travers l'absorbeur

$$h_3 (T_2 - T_f) + h_{nc} (T_2 - T_1) + h_{r32} (T_2 - T_3) + h_{r21} (T_2 - T_1) + \Omega h_3 (T_2 - T_f) = S_2 \quad , S_2 = \tau \alpha_2 I_g$$

$$-(h_{nc} + h_{r21}) T_1 + (h_3 + h_{nc} + h_{r32} + h_{r21} + \Omega h_3) T_2 - (h_3 + \Omega h_3) T_f - h_{r32} T_3 = S_2 \quad (III.14)$$

c. Bilan énergétique du fluide

$$\dot{m} C_p dT_f = h_3 (T_2 - T_f) w dx + h_4 (T_3 - T_f) w dx + \Omega h_3 (T_3 - T_f) w dx$$

$$\dot{m} C_p \frac{dT_f}{w dx} = h_3 (T_2 - T_f) + h_4 (T_3 - T_f) + \Omega h_3 (T_3 - T_f)$$

$$\Gamma_1 (T_{fi} - T_{f,i-1}) = h_3 (T_2 - T_f) + h_4 (T_3 - T_f) + \Omega h_3 (T_3 - T_f)$$

$$(h_3 + \Omega h_3) T_2 - (h_3 + h_4 + \Omega h_3 + \Gamma_1) T_{fi} + h_4 T_3 = -\Gamma_1 T_{f,i-1} \quad (III.15)$$

Où Ω est le coefficient adimensionnel défini comme suit [1]:

$$\Omega = \frac{A_{chic}}{A_p - A_{chic}} \eta_{chic}$$

$$\dot{m} C_p \frac{dT_f}{w dx} = \Gamma_1 (T_{fi} - T_{f,i-1})$$

d. Bilan énergétique de la plaque inférieure

$$h_4 (T_3 - T_f) w dx + U_b (T_3 - T_a) w dx + h_{r32} (T_3 + T_2) w dx = 0$$

$$h_4 (T_3 - T_f) + U_b (T_3 - T_a) + h_{r32} (T_3 + T_2) = 0$$

$$-h_{r32} T_2 - h_4 T_f + (h_{r32} + U_b + h_4) T_3 = U_b T_a \quad (III.16)$$

Chapitre III : Modélisation mathématique et résolution numérique

Le système d'équations est écrit sous forme de matricielles pour les inconnues T_1 , T_2 , T_f et T_3 :

$$\begin{bmatrix} (h_{r21} + h_{nc} + U_L) & -(h_{r21} + h_{nc}) & 0 & 0 \\ -(h_{nc} + h_{r21}) & (h_3 + h_{nc} + h_{r32} + h_{r21} + \Omega h_3) & -(h_3 + \Omega h_3) & -h_{r32} \\ 0 & (h_3 + \Omega h_3) & -(h_3 + h_4 + \Omega h_3 + \Gamma_1) & h_4 \\ 0 & -h_{r32} & -h_4 & h_4 + U_b + h_{r32} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_{fi} \\ T_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_1 + U_L T_a \\ S_2 \\ -\Gamma_1 T_{f,i-1} \\ U_b T_a \end{bmatrix}$$

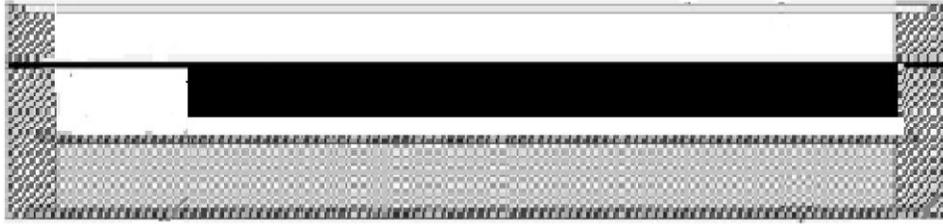


Figure (III.4) : Capteur solaire à air avec chicane sur l'absorbant

III.1.1.4. Capteur solaire à air avec des ailettes et des chicanes fixé sur la plaque absorbante

a. Bilan énergétique au niveau du vitrage

$$S_1 + h_{r21} (T_2 - T_1) + h_3 (T_f - T_1) = U_L (T_1 - T_a) \quad , \quad S_1 = \alpha_1 I_g$$

$$(h_{r21} + h_{nc} + U_L) T_1 - h_3 T_f - h_{r21} T_2 = S_1 + U_L T_a \quad (III.17)$$

b. Bilan énergétique du fluide

$$\dot{m} C_p dT_f = \phi h_3 (T_2 - T_f) w dx - h_3 (T_f - T_1) w dx$$

$$\dot{m} C_p \frac{dT_f}{w dx} = \phi h_3 (T_2 - T_f) - h_3 (T_f - T_1)$$

$$\Gamma_1 (T_{fi} - T_{f,i-1}) = \phi h_3 (T_2 - T_f) - h_3 (T_f - T_1)$$

Chapitre III : Modélisation mathématique et résolution numérique

$$h_3 T_1 - (\varphi h_3 + h_3 + \Gamma_1) T_{fi} + \varphi h_3 T_2 = -\Gamma_1 T_{f,i-1} \quad (\text{III.18})$$

$$\dot{m} C_p \frac{dT_f}{w dx} = \Gamma_1 (T_{fi} - T_{f,i-1})$$

c. Bilan énergétique à travers l'absorbeur

$$\varphi h_3 (T_2 - T_f) + h_{r21} (T_2 - T_1) + U_b (T_2 - T_a) = S_2, \quad S_2 = \tau \alpha_2 I_g$$

$$-h_{r21} T_1 - (\varphi h_3 + h_{r21} + U_b) T_2 - \varphi h_3 T_f - U_b T_a = S_2$$

$$-h_{r21} T_1 + \varphi h_3 T_f + (\varphi h_3 + h_{r21} + U_b) T_2 = S_2 + U_b T_a \quad (\text{III.19})$$

Où φ est le coefficient adimensionnel défini comme suit [2-1]:

$$\varphi = 1 + \frac{A_{ailet}}{A_p - A_{ailet b}} \eta_{ailet} + \frac{A_{chic}}{A_p - A_{chic b}} \eta_{chic} \quad (\text{III.20})$$

η_{ailet} est l'efficacité de l'ailette et peut être obtenu comme [4-3]:

$$\eta_{ailet} = \frac{\tanh(m H_{ailet})}{m H_{ailet}} \quad (\text{III.21})$$

Où :

$$m = \left(\frac{2h_3(L + t_{ailet})}{k_{ailet} L t_{ailet}} \right)^{0.5} \quad (\text{III.22})$$

k_{ailet} Représente la conductivité de transfert de chaleur de l'ailette

η_{chic} Est l'efficacité du déflecteur qui peut être obtenu à partir de l'équation empirique suivante [1] :

$$\eta_{chic} = \left(\frac{W_{chic}}{D_h} \right)^{0.0518} \left(\frac{L}{L_{chic}} \right)^{-0.2247} \quad (\text{III.23})$$

Le système d'équations est écrit sous forme de matriciel pour les inconnues T_1, T_2, T_f :

$$\begin{bmatrix} (h_{r21} + h_3 + U_b) & -h_3 & -h_{r21} \\ h_3 & -(\varphi h_3 + h_3 + \Gamma_1) & \varphi h_3 \\ -h_{r21} & -\varphi h_3 & (\varphi h_3 + h_{r21} + U_b) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_1 \\ T_f \\ T_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_1 + U_b T_a \\ -\Gamma_1 T_{f,i-1} \\ S_2 + U_b T_a \end{bmatrix}$$

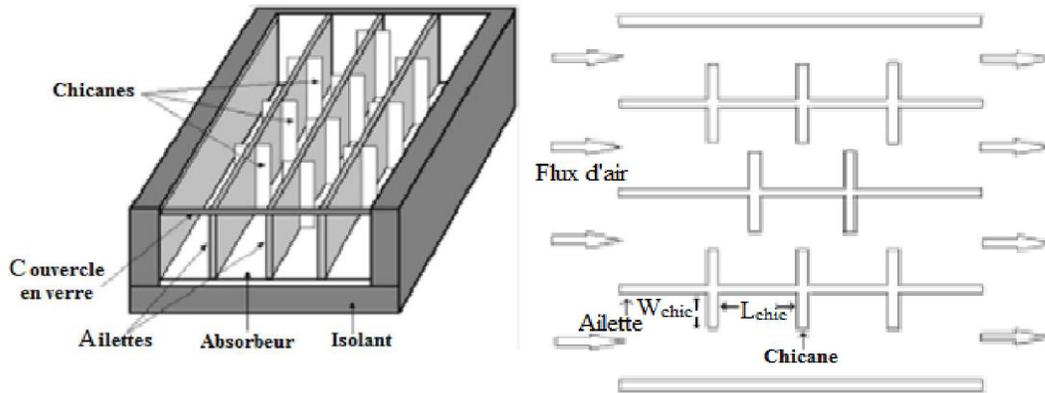


Figure (III.5) : Schéma montrant les dimensions d'ailette et des chicanes fixées sur plaque absorbante d'un capteur solaire à air.

III.2. Modélisation des coefficients d'échange thermique

Pour simplifier l'étude des transferts de chaleurs dans le capteur solaire à air, on utilise la méthode d'analyse dite méthode globale, d'où on suppose que :

- La conduction thermique dans le sens de l'écoulement est négligeable.
- Le vent extérieur est supposé de direction toujours parallèle aux faces du capteur solaire à air.
- Les gradients transversaux de température dans l'absorbeur sont négligés (la conductivité thermique de l'absorbeur est supposée très grande).

Pour déterminer les divers coefficients d'échange thermique « h », les relations suivantes sont utilisées, selon qu'il s'agit d'un transfert par conduction, rayonnement ou convection.

III.2.1. TRANSFERT CONDUCTIF

Les coefficients d'échange par conduction à travers l'isolant et le bois vers l'arrière de l'insolateur est donné par :

$$h_{cond} = \frac{\lambda_{is}}{e_{is}} + \frac{\lambda_b}{e_b} \quad (\text{III.24})$$

Où :

λ_{is} et λ_b sont respectivement les conductivités thermiques de l'isolant et du bois.

e_{is} et e_b sont respectivement les épaisseurs de l'isolant et du bois.

III.2.2. TRANSFERT RADIATIF

On considère un transfert radiatif entre deux plaques parallèles de températures T_1 et T_2 (exprimées en Kelvin), On applique la formule [5] :

$$h = \sigma(T_1 + T_2)(T_1^2 + T_2^2) \left(\frac{1 - \varepsilon_1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{F_{12}} - \frac{1 - \varepsilon_2 \frac{S_1}{S_2}}{\varepsilon_2 \frac{S_1}{S_2}} \right)^{-1} \quad (\text{III.25})$$

Où :

T_1 et T_2 sont les températures absolues des deux faces, supposées uniformes.

ε_1 est l'émissivité du milieu i (de surface S_i).

F_{12} est le facteur de forme géométrique entre les surfaces S_1 et S_2 , pris généralement pour les diverses parties de l'isolateur égale à 1.

σ est la constante de Stephane-Boltzmann.

- Entre la vitre et la voûte céleste

le coefficient d'échange radiatif s'écrit [6] :

$$h_{rs} = \sigma \varepsilon_1 (T_1 + T_s)(T_1^2 + T_s^2) (T_1 - T_s) / (T_1 + T_a) \quad (\text{III.26})$$

T_s est la température équivalente de la voûte céleste donnée par la relation de Swinbank (1963)[7] :

$$T_s = 0.0552 T_a^{1.5} \quad (\text{III.27})$$

- Entre la vitre et l'absorbeur

$$h_{r21} = \sigma(T_1 + T_2)(T_1^2 + T_2^2) \left(\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1 \right)^{-1} \quad (\text{III.28})$$

- Entre l'absorbeur et la plaque inférieure placée sur l'isolant

$$h_{r32} = \sigma(T_3 + T_2)(T_3^2 + T_2^2) \left(\frac{1}{\varepsilon_3} + \frac{1}{\varepsilon_4} - 1 \right)^{-1} \quad (\text{III.29})$$

III.2.3. TRANSFERT CONVECTIF

On distingue deux types d'échanges convectifs :

- Ceux dus au vent.
- Ceux intervenant dans l'isolateur.

Chapitre III : Modélisation mathématique et résolution numérique

III.2.3.1. Transfert convectif dû au vent

La relation suivante de Hottel et Woertz est généralement admise [8] :

$$h_w = 5.67 + 3.86 V_v \quad (\text{III.30})$$

Où : V_v est la vitesse du vent en (m/s).

III.2.3.2. Transferts convectifs dans le capteur

- Entre l'absorbeur et la vitre

Le coefficient de pertes par conduction-convection naturelle, entre l'absorbeur et la vitre, rapporté dans [9] s'écrit :

$$h_{nc} = 1.42 \left(\frac{(T_2 - T_a) \sin \beta}{L} \right)^{1/4} \quad (\text{III.31})$$

Les températures T_2 et T_a sont exprimées en Kelvin.

- Dans la veine d'air mobile

En ce qui concerne la convection forcée, et dans le cas des conduits rectangulaires, l'échange entre l'absorbeur et le fluide caloporteur est caractérisé par le coefficient :

$$h_3 = \frac{N_u D_h}{K_f} \quad (\text{III.32})$$

Le coefficient de transfert de chaleur par convection de l'air circulant à travers le canal à écoulement laminaire peut être estimé par la relation suivante [10]:

$$N_u = \frac{h_3 D_h}{K_f} = 4.4 \frac{0.00398 (0.7 R_e D_h / L)^{1.66}}{1 + 0.0114 (0.7 R_e D_h / L)^{1.12}} \quad \text{pour } R_e < 2300 \quad (\text{III.33})$$

Et pour l'écoulement turbulent pleinement développé, le coefficient de transfert de chaleur est calculé par [11] :

$$N_u = \frac{h_3 D_h}{K_f} = 0.0158 R_e^{0.8} \quad \text{pour } R_e > 2300 \quad (\text{III.34})$$

Où le nombre de Reynolds est donné par :

$$R_e = \frac{V_f D_h}{\nu_f} \quad (\text{III.35})$$

- Le coefficient d'échange entre la plaque d'aluminium et le fluide caloporteur est donné par :

$$h_4 = h_3 \quad (\text{III.36})$$

La section de passage de l'air A_f dans la veine d'air mobile, est calculée comme suit :

- Capteur solaire sans chicane

$$A_f = W d \quad (\text{III.37})$$

Chapitre III : Modélisation mathématique et résolution numérique

Le diamètre hydraulique est défini par le rapport de quatre fois la section de passage du fluide au périmètre mouillé.

$$D_h = \frac{4w d}{2(w+d)} = \frac{2w d}{w+d} \quad (\text{III.38})$$

- Capteur solaire avec chicane rectangulaire place sur plaque inférieure :

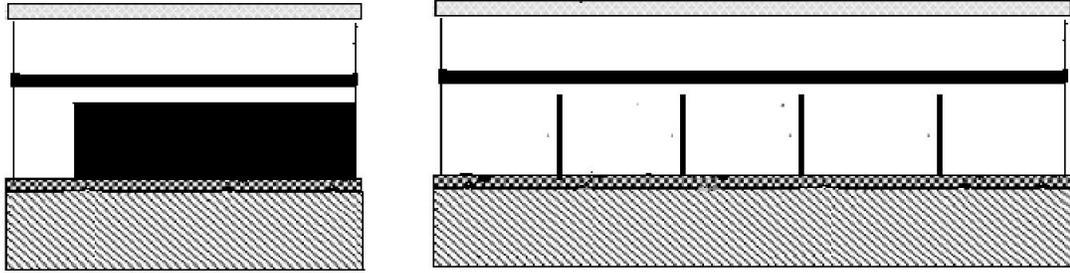


Figure (III.6) : Capteur muni des chicanes rectangulaires

La vitesse de l'air dans le conduit mobile V_f dépend des paramètres géométriques de la veine d'air utile et de la forme des chicanes (Figure III.6) elle s'exprime par :

$$V_f = \frac{\dot{m}}{\rho_f A_f} \quad (\text{vitesse débitante}) \quad (\text{III.39})$$

$$Re = \frac{\rho_f v_f D_h}{\mu_f} \quad (\text{III.40})$$

- Capteur solaire à air avec des ailettes et des chicanes fixées sur plaque absorbante

Diamètre hydraulique

$$D_h = \left(\frac{2((w d) - (H_{ailette} t_{ailette}))}{(w+d) + N_{ailette}(H_{ailette} + t_{ailette})} \right) \quad (\text{III.41})$$

le nombre de Reynolds est donné par :

$$Re = \frac{V_f D_h}{\nu_f} = \frac{2\dot{m}}{V_f [(w+d) + N_{ailette}(H_{ailette} + t_{ailette})]} \quad (\text{III.42})$$

Tant que la température de l'air T_f est comprise dans l'intervalle entre 280 K et 470 K, les corrélations empiriques suivantes peut être utilisé pour estimer la densité ρ_f , conductivité thermique K_f , et la viscosité dynamique μ_f , de l'air [12]:

$$\rho_f = 3.9147 - 0.016082T_f + 2.9013 \times 10^{-5}T_f^2 - 1.9407 \times 10^{-8}T_f^3 \quad (\text{III.43})$$

$$K_f = (0.0015215 - 0.097459T_f - 3.3322 \times 10^{-5}T_f^2) \times 10^{-3} \quad (\text{III.44})$$

$$\mu_f = (1.6157 + 0.06523T_f - 3.0297 \times 10^{-5}T_f^2) \times 10^{-6} \quad (\text{III.45})$$

$$C_p \approx 1000 \text{ J/K g K} \quad (\text{III.46})$$

III.3. Les pertes thermiques

Les pertes thermiques sont dues à la différence de température entre l'absorbeur et le milieu ambiant.

1. Pertes à l'arrière.

2. Pertes à l'avant.

III.3.1. Pertes à l'arrière

L'expression des pertes de la face arrière de l'insolateur est [12] :

$$U_b = \frac{K_{ins}}{\delta_{ins}} \quad (\text{III.47})$$

Où :

K_{ins} la conductivité thermique de l'isolant.

δ_{ins} les épaisseurs de l'isolant.

U_b Le coefficient de perte de chaleur de fond.

III.3.2. Pertes à l'avant

$$U_L = h_{rs} + h_w \quad (\text{III.48})$$

Où :

h_w est le coefficient d'échange convectif du au vent, entre la face inférieure de l'insolateur et l'air extérieur.

III.4. Rendement thermique et l'énergie utile (récupéré par le fluide caloporteur)

A condition que les températures d'entrée et de sortie d'air sont connus, l'équation suivante peut être utilisée pour représenter l'énergie utile:

$$Q_u = \dot{m} C_p (T_{fs} - T_{fi}) \quad (\text{III.49})$$

Ainsi, le rendement thermique η du collecteur peut être calculée par:

$$\eta = \frac{Q_u}{I_g A_p} = \frac{\dot{m} C_p (T_{fs} - T_{fi})}{I_g A_p} \quad (\text{III.50})$$

III.5. Puissance absorbée

- Puissance absorbée par la vitre (S_1)

$$S_1 = \alpha_1 I_g \quad (\text{III.51})$$

Où :

α_1 coefficient d'absorption de la vitre

- Puissance absorbée par l'absorbeur (S_2)

$$S_2 = \tau \alpha_2 I_g \quad (\text{III.52})$$

Où :

α_2 coefficients d'absorption de l'absorbeur

τ Transmissivité de vitre

Conclusion

Dans ce chapitre, les équations des bilans énergétiques de chaque composant du collecteur solaire à air. Et nous avons développé un programme dans un code en langage "fortran" qui nous a permis de calculer les performances thermiques des panneaux solaire plan à air sans et avec chicanes.

REFERENCE

- [1] Ho C.D., Yeh H.M., Cheng T.W., Chen T.C., Wang R.C., The influences of recycle on performance of baffled double-pass flat-plate solar air heaters with internal fins attached, *Appl Energy*, vol.86, pp.1470-1478,2009.
- [2] Yeh H.M., Theory of baffled solar air heaters, *Energy*, vol.17, pp.697-702. 1992.
- [3] Yeh H.M., Ho C.D., Hou J.Z., Collector efficiency of double-flow solar air heaters with fins attached, *Energy*, vol. 27, pp.715-727,2002.
- [4] El-Sebaili A.A., Aboul-Enein S., Ramadan M.R.I., Shalaby S.M., Moharram B.M., Thermal performance investigation of double pass-finned plate solar air heater, *Appl Energy*, vol.88, pp.1727-1739,2011.
- [5] J.-F. Sacadura, Initiation aux transferts thermiques, Technique et documentation, 1980.
- [6] A. Belghit, M. Belahmidi, A. Bennis, B. C. Boutaleb and S. Benet, Étude numérique d'un séchoir solaire fonctionnant en convection forcée, *Revue Générale de Thermique*, vol. 36 11, pp. 837-850, 1997.
- [7] Swinbank W. C., Long-wave radiation from clear skies, *Q.J. R. Meteorol. Soc*, vol. 89, 339-343, 1963.
- [8] M. Daguinet, 'Les Séchoirs Solaires, Théories et Pratique', Unesco, 1985.
- [9] Moumni N., Prévisions systématiques et optimization des performances des capteurs solaires plans à air dans divers cites de climats méditerranéens ou sahariens et avec ou sans altitude, PhD thesis, Université de Valenciennes, France ,1994.
- [10] Heaton H.S., Reynolds W.C., Kays W.M., Heat transfer in annular passages. Simultaneous development of velocity and temperature fields in laminar flow, *Int J Heat Mass Transf* vol.7, pp. 763-781,1964
- [11] Kays W.M., Convective heat and mass transfer, New York, McGraw-Hill, 1980.
- [12] K. Mohammadi , M. Sabzpooshani , Comprehensive performance evaluation and parametric studies of single pass solar air heater with fins and baffles attached over the absorber plate , *Energy*, vol.57, pp.741-750. 2013.

Chapitre IV : Résultats et discussions

Introduction

Dans ce chapitre, nous allons présenter et valider les résultats des modèles mathématiques développés à partir de l'analyse des bilans énergétiques des différents panneaux solaires à air simple, sans et avec chicane en régime stationnaire avec les résultats de la littérature. En outre, nous menons une étude paramétrique dont le but d'optimiser le dimensionnement du panneau solaire plan à air. A la fin de ce chapitre, on représente des principaux résultats graphiques obtenus, sous formes des courbes et des tableaux.

IV.1. Validation avec la littérature

IV.1.1. Capteur solaire simple passe et sans vitre et sans chicanes

Pour une meilleure appréciation de la performance et les limites de nos simulations numériques, une comparaison entre les résultats obtenus concernant les capteurs solaires à air (sans chicane et sans vitre) et ceux trouvés dans la littérature (résultats de Gan [1] publié par Ong) a été effectuée en matière de température de fluide (voir Figure (IV.1)), dans les mêmes conditions opératoires ($I_g = 900 \text{ W/m}^2$, $T_a = T_e = 31,7 \text{ }^\circ\text{C}$, $Re = 1670$).

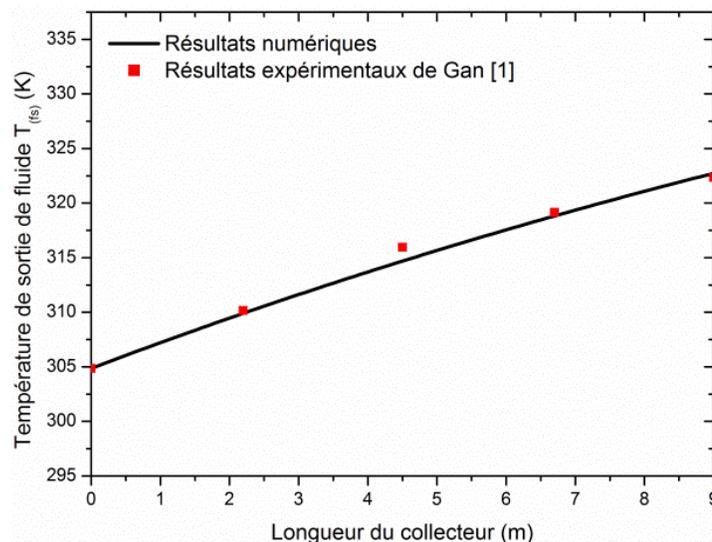


Figure (IV.1) : Variations de température le long du capteur solaire ($I_g = 900 \text{ W/m}^2$, $\dot{m} = 0.132 \text{ Kg/s}$)

IV.1.2. Capteur solaire à air avec vitre et sans chicane

Le code numérique écrit en langage fortran a été validé une autre fois pour le cas d'un capteur solaire plan à air sans chicane en comparant nos résultats avec la littérature [2].

Les résultats présentant la variation de température de sortie en fonction du temps sont résumés dans la Figure (IV.2) pour un débit fixé ($\dot{m}=0.012\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$). Les résultats numériques obtenus dans ce travail sont en parfait accord avec ceux obtenus par Chabane et al [2].

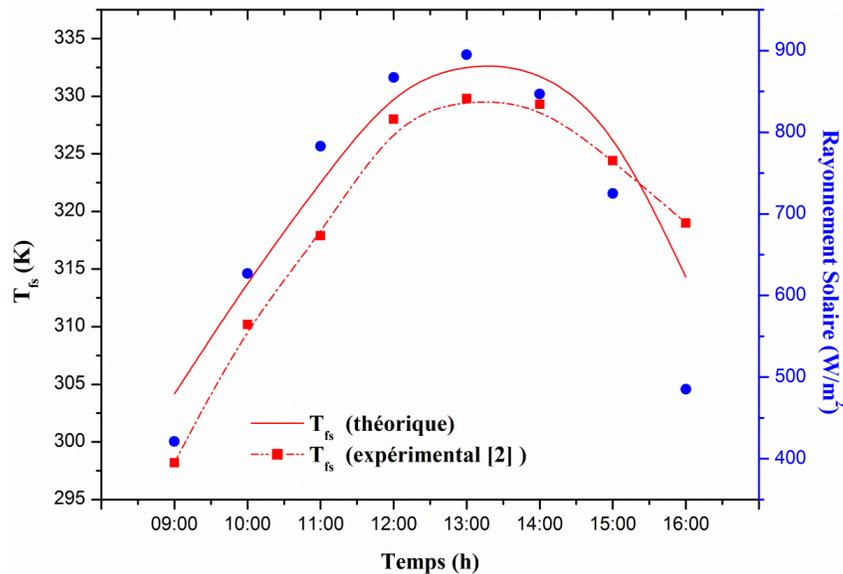


Figure (IV.2) : Variation de température de sortie en fonction du temps.

IV.1.3. Capteur solaire à air avec des ailettes et des chicane fixé sur la plaque

absorbante

Dans cette partie, la comparaison a été faite avec les travaux réalisés par Mohammadi et al.[3] pour un capteur solaire plan à air avec des ailettes et des chicane fixé sur la plaque absorbante. La Figure (IV.3) représente la variation du rendement en fonction de débit massique pour un gisement solaire fixé ($I_g=1100 \text{ W}/\text{m}^2$). Une très bonne concordance a été obtenue entre les résultats du présent travail et celui de Mohammadi et al. [3].

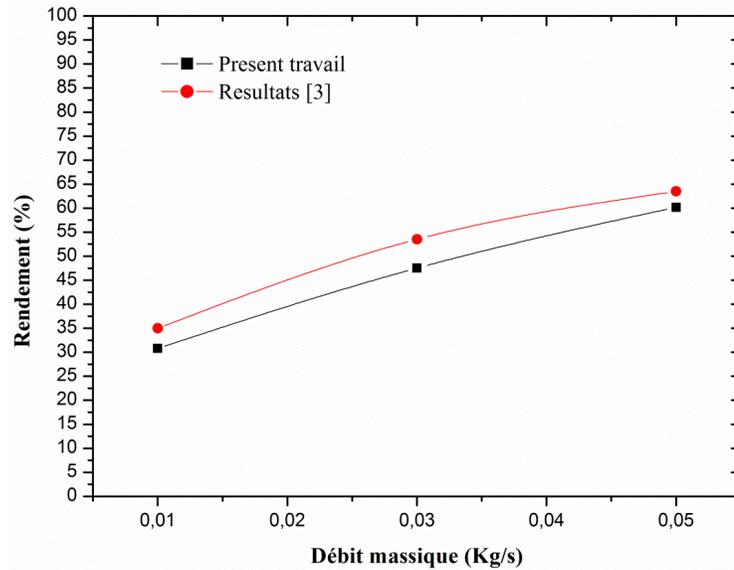


Figure (IV.3) : Variation du rendement thermique en fonction de débit massique pour une valeur fixe du rayonnement solaire ($I_g=1100 \text{ W/m}^2$).

IV.2. Etude paramétrique

Tableau IV.1 : Variation la température de sortie Réf[3] et du rendement thermique en fonction du débit massique $I= 700 \text{ W/m}^2$

n	L_{chic}	W_{chic}	$\dot{m}=0.03(\text{Kg/s})$					$\dot{m}=0.05 \text{ Kg/s}$				
			$T_{fo} \text{ (k)}$		$\eta \%$		Erreur%	$T_{fo} \text{ (k)}$		$\eta \%$		Erreur%
			Présent Réulte	$T_{fo} \text{ (k)}$ Réf [3]	Présent Réulte	$\eta\%$ Réf [3]		présent Réulte	$T_{fo} \text{ (k)}$ Réf[3]	présent Réulte	$\eta \%$ Réf [3]	
0			306,07	306,03	34,67	34,62	0,14	302,59	303,15	45,28	47,31	4,29
5	0,40	0,01	309,97	309,20	43,09	41,47	3,92	304,90	304,82	53,58	53,30	0,52
		0,03	312,03	310,66	47,53	44,62	6,52	306,08	306,20	57,84	58,27	0,74
		0,05	313,64	311,94	51,01	47,39	7,64	306,96	306,96	60,99	60,99	0,01
	0,20	0,01	310,71	309,70	44,68	42,56	4,99	305,33	305,62	55,14	56,18	1,85
		0,03	313,63	311,94	51,00	47,39	7,62	306,96	306,96	60,98	60,99	0,01
		0,05	315,60	313,71	55,24	51,21	7,87	307,96	307,95	64,61	64,56	0,08
	0,10	0,01	311,81	310,50	47,07	44,29	6,28	305,96	306,11	57,42	57,94	0,90
		0,03	315,59	313,71	55,23	51,21	7,85	307,96	307,95	64,60	64,56	0,07
		0,05	317,68	315,89	59,73	55,92	6,81	308,97	309,10	68,22	68,70	0,70
7	0,05	0,01	313,35	311,72	50,39	46,91	7,43	306,81	306,83	60,45	60,52	0,12
		0,03	317,68	315,89	59,72	55,92	6,79	308,96	309,10	68,21	68,70	0,72
		0,05	319,58	318,22	63,83	60,96	4,71	309,83	310,26	71,32	72,85	2,10
	0,40	0,01	311,18	309,64	45,69	42,43	7,69	305,57	305,59	56,00	56,11	0,19
		0,03	313,56	311,57	50,84	46,59	9,13	306,90	306,74	60,78	60,28	0,83
		0,05	315,28	313,15	54,55	50,01	9,07	307,79	307,65	63,99	63,53	0,73
	0,20	0,01	312,06	310,32	47,60	43,90	8,43	306,07	306,00	57,81	57,61	0,34
		0,03	315,28	313,15	54,54	50,01	9,05	307,79	307,65	63,98	63,53	0,71
		0,05	317,22	315,19	58,73	54,42	7,93	308,74	308,75	67,41	67,48	0,11
0,10	0,01	313,33	311,37	50,33	46,17	9,02	306,77	306,63	60,32	59,87	0,76	
	0,03	317,21	315,19	58,72	54,42	7,91	308,74	308,75	67,40	67,48	0,12	
	0,05	319,10	317,49	62,79	59,37	5,76	309,61	309,90	70,54	71,65	1,55	
0,05	0,01	314,99	312,88	53,92	49,43	9,08	307,64	307,50	63,45	62,99	0,73	
	0,03	319,09	317,49	62,78	59,37	5,74	309,61	309,90	70,53	71,65	1,56	

Chapitre IV : Résultats et discussions

Pour voir clairement les influences du largueur et la longueur des chicanes sur la température de sortie pour des différents débits massiques ($\dot{m}=0.03\text{kg/s}$ et $\dot{m}=0.05\text{kg/s}$) et pour des valeurs fixes des ($n = 5, I= 700 \text{ W/m}^2$) on a représenté sur la figure (IV.4) et (IV.5), les variations de la température en fonction du débit massique pour des différents largueurs et longueur des chicanes. On constate une diminution de la température de sortie avec l'augmentation du débit. On peut aussi constater que dans tous les débits massiques la température de sortie d'air augmente avec l'augmentation des paramètres W_{chic} et la diminution des paramètres L_{chi} .

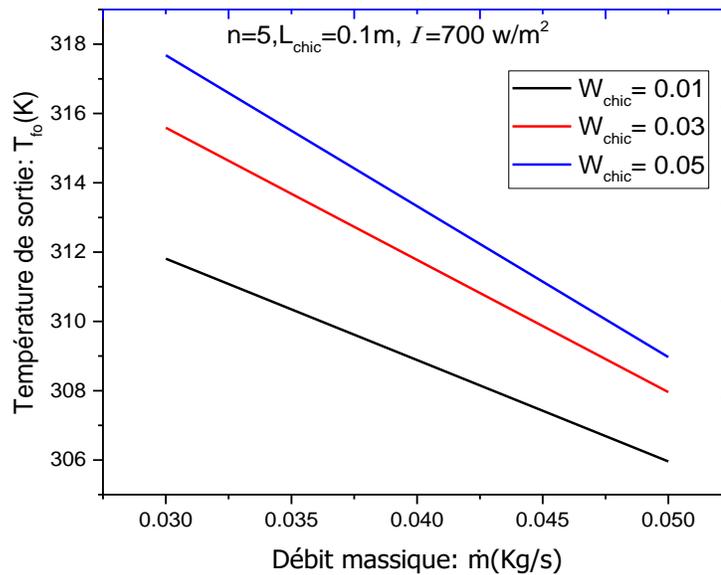


Figure (IV.4) : Variation de la Température de sortie de l'air vs. Débit massique pour différentes largeurs de déflecteurs, pour $n = 5, L_{\text{chic}}= 0.1 \text{ m}$ et $I= 700 \text{ W/m}^2$

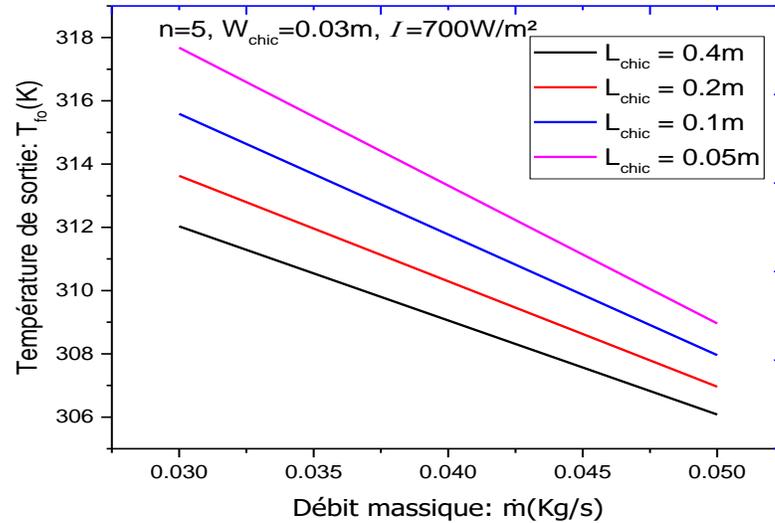


Figure (IV.5) : Variation de la Température de sortie de l'air par rapport au débit massique pour diverses distances entre les chicane. Pour $n = 5$, $W_{chic} = 0.03 \text{ m}$ et $I = 700 \text{ W/m}^2$

Pour voir clairement les influences des nombres d'ailettes sur la température de sortie pour des différents débits massiques ($\dot{m}=0.03\text{kg/s}$ et $\dot{m}=0.05\text{kg/s}$) et pour des valeurs fixes des ($L_{chic}=0.1\text{m}$, $W_{chic}=0.03\text{m}$, $I= 700 \text{ W/m}^2$) on a représenté sur la figure (IV.6), les variations de la température en fonction du débit massique pour des différents nombres d'ailettes. On constate une diminution de la température de sortie avec l'augmentation du débit. On peut aussi constater que dans tous les débits massiques la température de sortie de l'air augmente avec l'augmentation des paramètres n (nombres d'ailettes).

Chapitre IV : Résultats et discussions

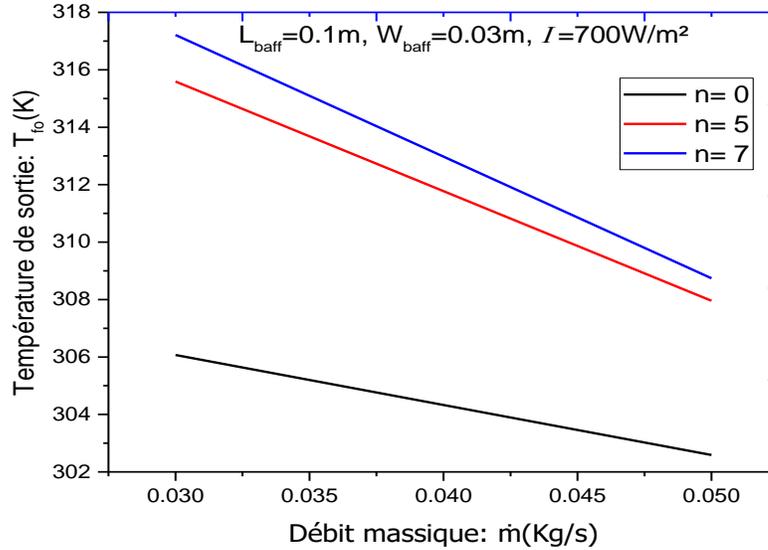


Figure (IV.6) : Variation de la Température de sortie de l'air par rapport au débit massique pour divers nombres d'ailettes et de chicane. Pour $L_{chic} = 0.1$ m, $W_{chic} = 0.03$ m et $I = 700$ W/m²

Tableau IV.2 : Variation de l'énergie utile (Q_u), température de sortie (T_{fo}) et du rendement thermique (η) en fonction du débit massique $I = 900$ W/m²

n	L_{chic}	W_{chic}	$\dot{m}=0,01$ (Kg/s)			$\dot{m}=0,03$ (Kg/s)			$\dot{m}=0,05$ (Kg/s)			
			T_{fo} (k)	Q_u	$\eta\%$	T_{fo} (k)	Q_u	$\eta\%$	T_{fo} (k)	Q_u	$\eta\%$	
0			329.86	401.82	22.32	312.57	0682.55	37.92	308.17	0915.78	50.88	
5	0.40	0.01	331.83	421.66	23.43	313.54	0711.96	39.55	308.80	0947.49	52.64	
		0.03	335.69	460.57	25.59	315.42	0768.64	42.70	309.97	1006.58	55.92	
		0.05	339.18	495.70	27.54	317.07	0818.71	45.48	310.96	1056.60	58.70	
		0.20	0.01	333.15	434.99	24.17	314.19	0731.53	40.64	309.21	0968.18	53.79
			0.03	339.18	495.71	27.54	317.07	0818.71	45.48	310.96	1056.62	58.70
			0.05	344.16	545.90	30.33	319.38	0888.40	49.36	312.28	1122.93	62.39
	0.10	0.01	335.28	456.43	25.36	315.22	0762.68	42.37	309.85	1000.48	55.58	
		0.03	344.16	545.91	30.33	319.38	0888.42	49.36	312.28	1122.95	62.39	
		0.05	350.58	610.65	33.93	322.25	0975.16	54.18	313.82	1200.42	66.69	
	7	0.40	0.01	338.56	489.52	27.20	316.78	0809.97	45.00	310.79	1048.02	58.22
			0.03	350.58	610.67	33.93	322.25	0975.18	54.18	313.82	1200.44	66.69
			0.05	357.82	683.59	37.98	325.34	1068.77	59.38	315.36	1278.19	71.01
0.20		0.01	333.90	442.52	24.58	314.12	0729.29	40.52	309.17	0965.93	53.66	
		0.03	339.07	494.57	27.48	316.60	0804.26	44.68	310.68	1042.50	57.92	
		0.05	343.46	538.87	29.94	318.66	0866.55	48.14	311.88	1102.67	61.26	
0.10	0.01	335.71	460.72	25.60	314.99	0755.72	41.98	309.71	0993.45	55.19		
	0.03	343.46	538.88	29.94	318.66	0866.56	48.14	311.88	1102.69	61.26		
	0.05	349.32	597.92	33.22	321.33	0947.42	52.63	313.34	1176.37	65.35		
	0.05	0.01	338.53	489.19	27.18	316.34	0796.60	44.26	310.53	1034.88	57.49	
		0.03	349.32	597.94	33.22	321.33	0947.44	52.64	313.34	1176.38	65.35	
		0.05	356.20	667.29	37.07	324.37	1039.30	57.74	314.89	1254.44	69.69	
0.05	0.01	342.70	531.26	29.51	318.30	0855.94	47.55	311.68	1092.65	60.70		
	0.03	356.20	667.31	37.07	324.37	1039.32	57.74	314.89	1254.45	69.69		
	0.05	363.14	737.28	40.96	327.32	1128.67	62.70	316.29	1325.17	73.62		

Chapitre IV : Résultats et discussions

Pour voir clairement les influences du largueur et la longueur des chicanes sur la température de sortie pour des différents débits massiques ($\dot{m}=0.01\text{kg/s}$, $\dot{m}=0.03\text{kg/s}$ et $\dot{m}=0.05\text{kg/s}$) et pour des valeurs fixes des ($n = 5$, $I= 900 \text{ W/m}^2$) on a représenté sur la figure (IV.7) et (IV.8), les variations de la température en fonction du débit massique pour des différents largueurs et longueur des chicanes. On constate une diminution de la température de sortie avec l'augmentation du débit. On peut aussi constater que dans tous les débits massiques la température de sortie de l'air augmente avec l'augmentation des paramètres L_{chic} et W_{chic} .

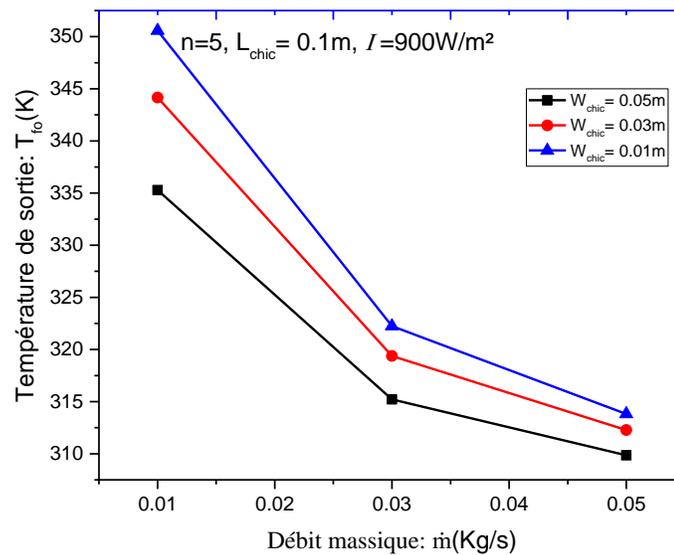


Figure (IV.7) : Variation de la Température de sortie de l'air vs. Débit massique pour différentes largeurs de déflecteurs. pour $n = 5$, $L_{\text{chic}}= 0.1 \text{ m}$ et $I= 900 \text{ W/m}^2$

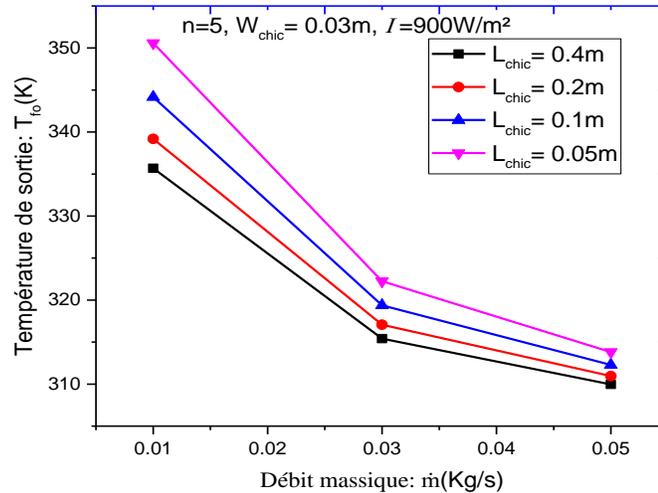


Figure (IV.8) : Variation de la Température de sortie de l'air par rapport au débit massique pour diverses distances entre les chicane. Pour $n = 5$, $W_{chic} = 0.03 \text{ m}$ et $I = 900 \text{ W/m}^2$

Pour voir clairement les influences des nombres d'ailettes sur la température de sortie pour des différents débits massiques ($\dot{m}=0.01\text{kg/s}$, $\dot{m}=0.03\text{kg/s}$ et $\dot{m}=0.05\text{kg/s}$) et pour des valeurs fixes des ($L_{chic}=0.1\text{m}$, $W_{chic}=0.03\text{m}$, $I= 900 \text{ W/m}^2$) on a représenté sur la figure (IV.9) , les variations de la température en fonction du débit massique pour des différents nombres d'ailettes. On constate une diminution de la température de sortie avec l'augmentation du débit. On peut aussi constater que dans tous les débits massiques la température de sortie de l'air augmente avec l'augmentation des paramètres n (nombres d'ailettes).

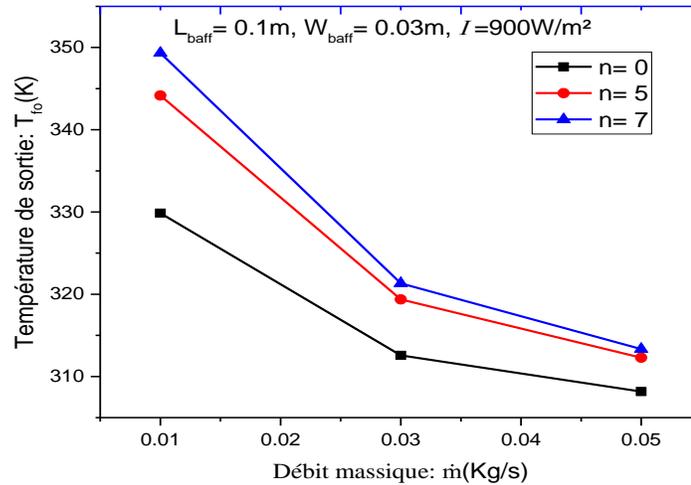


Figure (IV.9) : Variation de la Température de sortie de l'air par rapport au débit massique pour divers nombres d'ailettes et de chicanes. Pour $L_{chic} = 0.1$ m, $W_{chic} = 0.03$ m et $I = 900$ W/m²

IV.2.1. Validation avec ong et al[4] sans chicanes

Tableau IV.3 : Variation de la température (K) sans et avec chicanes en fonction de longueur de collecteur

Longueur de collecteur	Temp(k)	Temp(k)(n°2)
0	300,15	300,15
1	308,1762	308,15
2	313,9513	315,15
3	319,171	319,15
4	323,9786	323,15
5	328,4043	329,15
6	332,4668	334,15

Les courbes de la figure (IV.10) traduisent l'évolution de température en (k) en fonction de longueur de collecteur, Dans cette figure, nous remarquons que plus la longueur de collecteur, augmentation de la température, ce qui signifie que la relation est une.

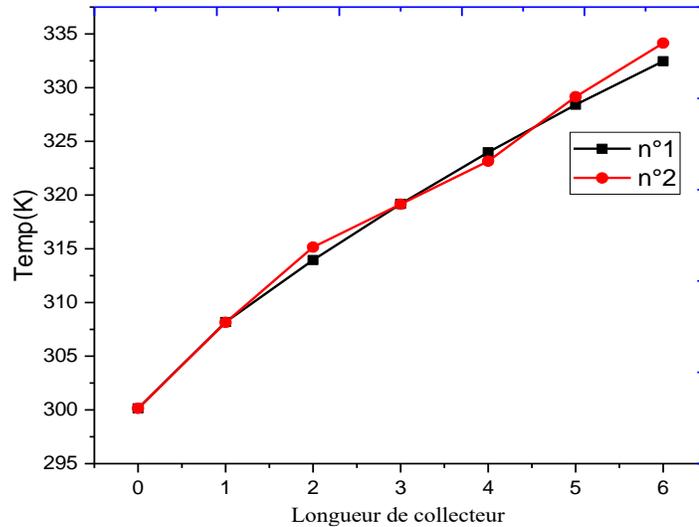


Figure (IV.10) : Evolution de la température de chaque composant suivant longueur du collecteur

IV.2.2. Avec chicanes

Tableau IV.4 : Variation de Débit massique (kg/s) avec un déférentes largueur de chicanes

Débit massique	Simple	$W_{chic}=0.01$	$W_{chic}=0.03$	$W_{chic}=0.05$
0,01	329,793	335,1402	343,8697	350,1721
0,015	320,5453	324,7525	331,7336	336,8658
0,02	315,3261	318,7906	324,5528	328,7971
0,025	314,208	317,2081	322,0168	325,4183
0,03	312,6091	315,2359	319,3438	322,1701
0,035	311,2599	313,5802	317,127	319,5068
0,04	310,0988	312,1633	315,2532	317,2806
0,045	309,0841	310,9326	313,6461	315,391
0,05	308,1872	309,8513	312,2508	313,7663

Pour voir clairement l'influence du largueur des chicanes sur la température de sortie pour des différents débits massiques on a représenté sur la figure (IV.11), les variations de la température en fonction du débit massique pour des différents largueurs des chicanes. On constate une diminution de la température de sortie avec l'augmentation du débit. On peut aussi constater que dans tous les débits massiques la température de sortie du l'air augmente avec l'augmentation des paramètres W_{chic} .

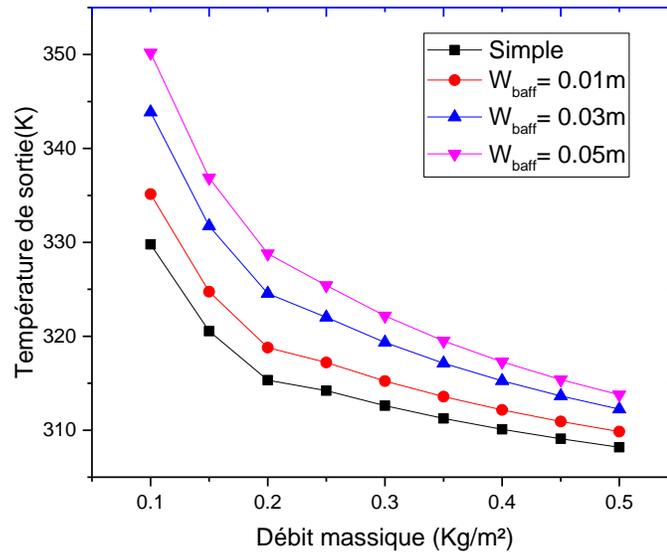


Figure (IV.11) : Variation de température de sortie en fonction du débit massique Variation de la Température de sortie de l'air vs. Débit massique pour différentes largeurs des chicanes.

Dans cette étude la figure (IV.12) montre la loi de variation de la température de sortie en fonction de la hauteur du canal. Il est noté que l'accroissement progressif de la hauteur du canal, engendre une chute de température de sortie pour un débit de 0.01kg/s et $I=1000w/m^2$.

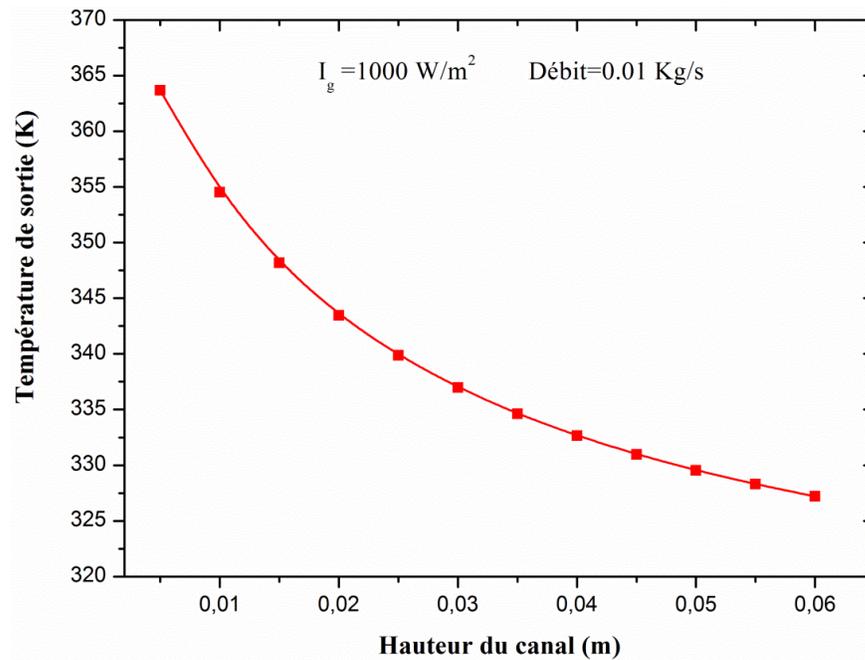


Figure (IV.12) : Variation de la température de sortie en fonction de la hauteur du canal.

Chapitre IV : Résultats et discussions

Pour voir clairement les influences du largueur et la longueur des chicanes sur la température de sortie pour des différents valeurs de Gisement solaire ($I=700 \text{ W/m}^2$ et $I=900 \text{ W/m}^2$) et pour des valeurs fixes des ($n = 5$, $L_{\text{chic}}=0.1 \text{ m}$ et $W_{\text{chic}}=0.03 \text{ m}$) on a représenté sur la figure (IV.13), les variations de la température en fonction du Gisement solaire pour des différents débit massique et avec ou sans chicane . On constate une augmentation de la température de sortie avec l'augmentation du gisement. On peut aussi constater que dans tous les débits massiques la température de sortie d'air augmente avec l'augmentation des paramètres L_{chic} et W_{chic} .

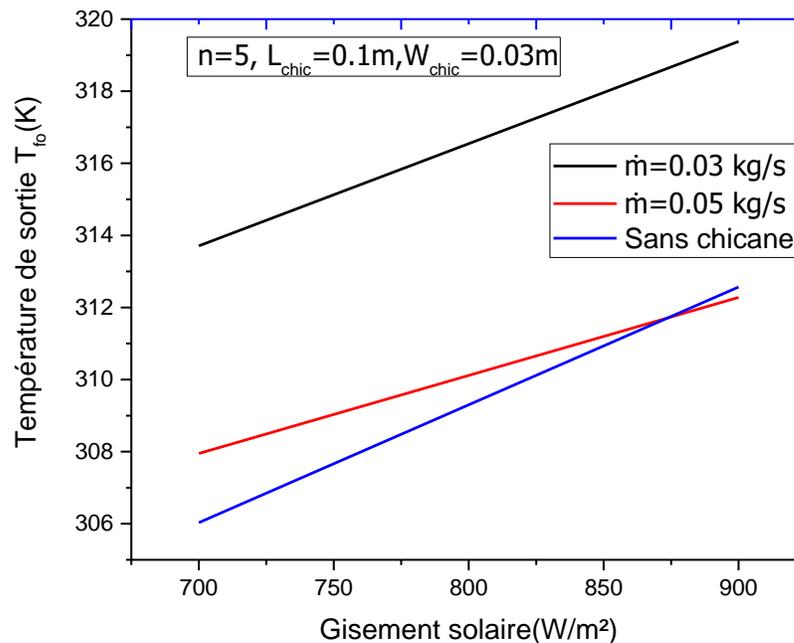


Figure (IV.13) : Variation de la Température de sortie par rapport au Gisement solaire pour divers sans chicane et nombres d'ailettes et de chicanes. Pour $n=5$, $L_{\text{chic}} = 0.1 \text{ m}$, $W_{\text{chic}} = 0.03 \text{ m}$ et déferente Débit massique 0.03 kg/s , 0.05 kg/s

Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté les différents résultats numériques obtenus des différents panneaux solaires à air sans chicanes, avec chicanes et avec ailettes et chicanes.

REFERENCE

- [1] G. C. K., Double-channel flow flat-plate solar air heater, Part II., Final Year Project, B.Eng., Engineering Faculty,, Univ. Malaya, 1986.
- [2] F. Chabane, N. Moumami and S. Benramache, Experimental analysis on thermal performance of a solar air collector with longitudinal fins in a region of Biskra.
- [3] K. Mohammadi and M. Sabzpooshani, Comprehensive performance evaluation and parametric studies of single pass solar air heater with fins and baffles attached over the absorber plate, *Energy*, vol. 57 pp. 741-750, 2013.
- [4] K. S. Ong, Thermal performance of solar air heaters—Experimental correlation, *Solar Energy*, vol. 55 3, pp. 209-220, 1995.

Conclusion Générale

Dans le cadre de ce travail, nous avons présenté et étudié un nouveau système de rafraîchissement et de ventilation naturelle des bâtiments par une tour du vent couplée avec un échangeur géothermique et une cheminée solaire. Le présent travail constitue une contribution à l'étude des phénomènes de transfert thermique des systèmes des collecteurs solaires à air (cheminée solaire).

On a fait des recherches bibliographiques sur les capteurs solaires plans à air, la cheminée solaire et le gisement solaire. Cette étude détermine l'évolution de la température et le débit massique de l'air dans la cheminée solaire.

Notre apport principal dans ce travail, est la mise au point d'un code de calcul numérique du fonctionnement dynamique de la chaîne énergétique que constitue le capteur solaire à air. Ce code a été fondé sur un ensemble d'équations issues d'un modèle physique détaillé, dans lequel interviennent certaines caractéristiques thermo-physiques propres aux éléments du capteur solaire plan à air, et utilisant la méthode « par tranche ».

Les résultats de ce travail constituent un apport important pour l'enrichissement des connaissances et de travaux de recherches sur la convection forcée à l'intérieur des conduites munies des chicanes et plus particulièrement dans les capteurs solaires à air. L'ensemble des résultats présente un caractère original et révèle une grande richesse phénoménologique.

Les résultats obtenus mettent en évidence l'influence des paramètres internes et externes sur le rendement du capteur plan. Il apparaît clairement que le rendement instantané est une fonction proportionnelle de l'irradiation solaire globale qui joue un rôle prépondérant. En outre, l'augmentation de la température de l'ambiance favorise l'amélioration du rendement instantané du capteur.

En perspective, envisageons, élargir cette étude à d'autres applications tels que le séchage d'autres produits comme les produits rouges utilisés en construction ainsi que d'autres produits locaux à grande production et consommation tels que les dattes et le piment 'corne de chèvre'. Ceci nécessite des performances meilleures des insolateurs. Ceci nous amène à tester nos systèmes en régime transitoire pour des intervalles de débits variables.