



Université Mohamed Khider de Biskra
Faculté des sciences et de la technologie
Département de génie mécanique

MÉMOIRE DE MASTER

Domaine : Sciences et Techniques

Filière : Génie Mécanique

Spécialité : Energétique

Réf. : Entrez la référence du document

Présenté et soutenu par :

Hichem Ben Temam

Le : dimanche 23 juin 2019

Calculs des pertes thermiques dans un échangeur de chaleur : applications aux insolateurs

Jury :

Mr. Adel Benchabane	Pr	Université de Biskra	Président
Mr. Nouredine Moummi	Pr	Université de Biskra	Rapporteur
Mme. Nora Boulouf	MCB	Université de Biskra	Examineur



Remerciements

Je remercie Dieu Allah le tout puissant de m'avoir donné courage et patience, qui m'a permis d'accomplir ce modeste travail.

Je tiens en premier à exprimer ma grande gratitude envers mon Encadreur Pr.Noureddine Moumami, qui m'a apporté son aide et ses conseils précieux et de m'avoir inspiré ce sujet et suivi de très près sans ménager son temps ni si efforts, qu'il trouve dans ce travail mon témoignage respectueux.

Je tiens à exprimer mes sincères remerciements pour mes parents, ma famille et toute personne ayant participé de loin ou de près pour l'aboutissement de ce modeste travail.

Ben Temam Hichem

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail

A mes chers parents

Pour Leur amour, leur bonté, leur sacrifice,

Leurs encouragements perpétuels

A mes frères (lotfi et mohamed) et mes sœurs (halima, chaima)

A toute ma famille chacun avec son nom

A mon encadreur Pr.Noureddine Moummi

A tous mes collègues surtout Imad et Sadek 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

Ben Temam Hichem

Sommaire

Dénominations	page
Introduction générale	02
Chapitre I: Etat de l'art	
I.1.Introduction	04
I.2. Effet de la largeur du capteur	04
I.3. Effet de la longueur du capteur	05
I.4.le coefficient d'échange convectif	07
I.5.La température de l'absorbeur	11
I.6. Conclusion	12
Chapitre II : Le gisement solaire	
II.1.Introduction	14
II.2.Le soleil	14
II.2.1.La constante solaire	14
II.3. Caractéristiques de la terre	14
II.3.1.L'atmosphère terrestre	14
II.3.2 Mouvement de la terre	15
II.4. Rayonnement solaire	15
a- Rayonnement extraterrestre	15
b- Irradiation solaire	15
c- Durée d'insolation	16
d- Composantes du rayonnement solaire	16
II.5.Différents types de rayonnement	16
II.5.1.Le rayonnement direct	16
II.5.2.Le rayonnement diffus	16
II.5.3.L'albédo	17
II.5.4.Le rayonnement global	17
II.6.Les coordonnées géographiques	17
-La latitude θ	17
-La longitude φ	17
-L'altitude	17
II.7.Coordonnées horaires	18

-Déclinaison du soleil (δ)	18
-Angle horaire du soleil ω	18
II.8.Coordonnées horizontales	19
-La hauteur du soleil (h)	19
-Azimut solaire	19
II.9.Notions de Temps	20
II.9.1.Temps solaire vrai (TSV)	20
II.9.2.Temps solaire moyen (TSM)	20
II.9.3.Temps universel (TU)	20
II.9.4.Temps légal (TL)	21
II.10.Conclusion	21
Chapitre III : Technologie de conversion de l'Energie solaire	
III.1.Introduction	23
III.2.Capteur solaire thermique	23
III.2.1.Principe	23
III.3.Différentes techniques de capteurs solaires	23
III.3.1.Capteurs plan vitré	23
III.3.2.Capteurs plans non vitrés	24
III.3.3.Capteurs à concentration	24
III.3.4.Capteur cylindro-parabolique	25
III.3.5.Capteur parabolique	25
III.3.6.Capteurs sous vide	26
III.4.Le capteur solaire à eau	27
- Le système à basse pression	27
- Le système à haute pression	27
III.4.1.Le fonctionnement d'un chauffe-eau solaire	27
III.5. Applications des capteurs solaires plans à air	28
a- Chauffages et climatisation des habitations	28
b-Le séchage	29
III.6.Conclusion	29
Chapitre IV : Etude Théorique	

IV.1.Introduction	31
IV.2.Éléments constitutants	31
IV.2.1.Une couverture transparente	31
IV.2.2.Paroi absorbante (absorbeur)	32
IV.2.3. Isolation arrière	32
IV.2.4.Fluide caloporteur	32
IV.2.5. Le coffre	33
IV.3.Bilan thermique d'un capteur solaire	33
IV.3.1.La quantité de chaleur perdue	33
IV.3.2.Le coefficient globale de pertes	34
IV.3.3.L'analogie électrique	35
IV.4.Organigramme de simulation	36
IV.5.Conclusion	36
Chapitre V : Résultats et interprétation	
V.1.Introduction	38
V.2.Variation des pertes thermiques en fonction des paramètres d'environnement	38
V.2.1.Influence de la température ambiante	38
V.2.2.Influence de la vitesse du vent	41
V.2.3.Influence du rayonnement incident	43
V.3.Variation des pertes thermiques en fonction des paramètres de conception	44
V.3.1.Influence de l'inclinaison du système par rapport à l'horizontale	44
V.3.2.Influence du débit d'écoulemnt du fluide caloporteur	45
V.3.3.Influence de la hauteur de la veine d'air passive (air-absorbeur)	47
V.3.4.Influence de l'emmissivité de l'absorbeur	49
V.3.5.Influence de l'emmissivité de la vitre	51
V.4.Conclusion	53
Conclusion générale	55
Références Bibliographiques	57
Résumé	60

Liste des figures

Chapitre	Figure	Dénomination	Page	Référence
Etat de l'art	I.1	Effet de la largeur du capteur sur les différentes températures (à la sortie et moyenne du fluide, de l'absorbeur, de la vitre et de la plaque métallique placée sur l'isolant en aluminium)	04	[1]
	I.2	Effet de la largeur du capteur sur la puissance perdue (Q_p) et la puissance utile récupérée par le fluide (Q_u)	05	[1]
	I.3	Effet de la largeur du capteur sur le coefficient globale des pertes thermiques	05	[2]
	I.4	Effet de la longueur du capteur sur les différentes températures (à la sortie et moyenne du fluide, de l'absorbeur, de la vitre et de la plaque métallique placée sur l'isolant en aluminium)	06	[1]
	I.5	Effet de la longueur du capteur sur la puissance perdue (Q_p) et la puissance utile récupérée par le fluide (Q_u)	06	[1]
	I.6	Effet de la longueur du capteur sur le coefficient globale des pertes thermiques	07	[2]
	I.7	Effet de la longueur du capteur sur le facteur d'efficacité (F'), le coefficient de conductance global (F_R) et le rendement (η)	07	[2]
	I.8	la variation de coefficient d'échange entre la vitre et l'absorbeur	08	[3]
	I.9	la variation de coefficient de perte le long du capteur pour différent matériaux d'absorbeur et de vitre pou un débit $m_v = 30 \text{ m}^3/\text{hm}^2$	09	[3]

	I.10	la variation de coefficient de perte le long du capteur pour différent matériaux d'absorbeur et de vitre pou un débit $m_v = 50 \text{ m}^3/\text{hm}^2$	10	[3]
	I.11	la variation de coefficient de perte le long du capteur pour différent matériaux d'absorbeur et de vitre pou un débit $m_v = 80 \text{ m}^3/\text{hm}^2$	10	[3]
	I.12	l'évolution de la température de l'absorbeur et de l'air le long du capteur pour un débit $m_v = 70 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$	11	[3]
	I.13	l'évolution de la température de l'absorbeur et de l'air le long du capteur pour un débit $m_v = 80 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$	12	[3]
Le gisement solaire	II.1	Mouvement de la terre autour du soleil	15	[6]
	II.2	Composantes du rayonnement solaire au niveau du sol	16	[8]
	II.3	Coordonnées géographiques	18	[10]
	II.4	Coordonnées horaires	19	[10]
	II.5	Azimut du soleil (α)	20	[7]
Technologie de conversion de L'Energie solaire	III.1	Coupe d'un capteur solaire plan vitré	24	[14]
	III.2	Principe de fonctionnement de capteur solaire non vitré à revêtement sélectif	24	[15]
	III.3	Schéma d'un capteur cylindro-parabolique	25	[17]
	III.4	capteur parabolique	25	[18]
	III.5	Capteur sous vide	26	[19]
	III.6	Vue en coupe d'un capteur plan	27	[20]
	III.7	Le schéma de fonctionnement d'un chauffe-eau solaire	28	[14]
	III.8	Chauffages est climatisation des habitations	28	[21]

	III.9	séchage solaire	29	[22]
Étude Théorique	IV.1	Composants d'un capteur solaire	31	[23]
	IV.2	Représentation schématique des coefficients d'échange	34	[28]
	IV.3	Analogie électrique	35	[28]
Résultats et interprétation	V.1	Variation des pertes avant en fonction température ambiante	38	
	V.2	Variation du coefficient des pertes globales H_{av}	39	
	V.3	Variation du coefficient d'échange radiatif vitre - extérieur	39	
	V.4	Variation du coefficient d'échange radiatif vitre -l'absorbeur	40	
	V.5	Variation du coefficient d'échange convectif vitre-extérieur	40	
	V.6	Variation du coefficient d'échange convectif absorbeur- vitre	41	
	V.7	Variation des pertes avant	41	
	V.8	Variation du coefficient d'échange radiatif h_{rabv} absorbeur - vitre	42	
	V.9	Variation du coefficient d'échange convectif absorbeur-air	42	
	V.10	Variation de coefficient d'échange radiatif h_{rva} vitre-extérieur	43	
	V.11	Variation du coefficient d'échange convectif entre l'abs et l'air	43	
	V.12	Variation des pertes avant pour divers inclinaisons du capteur solaire	44	
	V.13	Variation du coefficient d'échange convectif abs- l'air	44	
	V.14	Variation de coefficient d'échange radiatif h_{rva} vitre-extérieur	45	

	V.15	Variation de coefficient d'échange radiatif hrabv absorbeur-vitre	45	
	V.16	Variation du coefficient d'échange convectif abs-air pour différent débits	46	
	V.17	Variation du coefficient d'échange radiatif hrva vitre-extérieur	46	
	V.18	Variation du coefficient d'échange radiatif hrabv absorbeur-vitre	47	
	V.19	Variation des pertes avant pour divers espaces absorbeur-Vitre	47	
	V.20	Variation du coefficient d'échange radiatif hrva vitre-extérieur	48	
	V.21	Variation du coefficient d'échange radiatif hrabv vitre-absorbeur	48	
	V.22	Variation du coefficient d'échange convectif abs-air	49	
	V.23	Variation des pertes avant pour différentes émissivités de l'absorbeur	49	
	V.24	Variation du coefficient d'échange convectif abs-air	50	
	V.25	Variation du coefficient d'échange radiatif vitre-extérieur	50	
	V.26	Variation du coefficient d'échange radiatif vitre-absorbeur	51	
	V.27	Variation des pertes avant pour différent émissivité de la vitre	51	
	V.28	Variation du coefficient d'échange convectif abs-air	52	
	V.29	Variation du coefficient d'échange radiatif hrva vitre-extérieur	52	
	V.30	coefficient d'échange radiatif hrabv	53	

Liste des tableaux

N° du tableau	Désignation	N° de la page
Tableau .II.1	Caractéristiques principales de la terre	14
Tableau.II.2	L'albédo typique de différentes surfaces	17
Tableau .IV.1	Propriétés de quelques surfaces transparentes au rayonnement solaire mais opaques au rayonnement infrarouge	32
Tableau .IV.2	L'isolation	32

Nomenclature

Grandeur	Désignation	Unité
\dot{m}	Débit massique	Kg/s
C_p	Capacité calorifique massique du fluide à pression constante	J/(kg.K)
D_H	Diamètre hydraulique	m
F'	Efficacité de l'absorbeur	%
F_{12}	Facteur de forme géométrique entre les surfaces S_1 et S_2	[/]
G	Le rayonnement solaire global	w/m ²
g	Accélération de la pesanteur	m/s ²
h	Hauteur angulaire	m
h_c	Transfert convectif entre l'absorbeur et le fluide caloporteur	w/(m ² .k)
h_{c-nat}	Le coefficient de pertes par conduction-convection naturelle entre l'absorbeur et la vitre	w/ (m ² .K)
h_{cSV}	Coefficient d'échange par conduction-convection vitre-absorbeur	W/ (m ² .K)
h_{c-v}	Coefficient d'échange par convection abs-vitre	w/(m ² .k)
h_{cva}	Coefficient de perte par convection forcée en présence du vent	W/ (m ² .K)
h_r	Coefficient de transfert radiatif	W/ (m ² .K)
h_{rSV}	Coefficient de transfert par rayonnement vitre-absorbeur	W/ (m ² .K)
h_{rva}	Coefficient des pertes par rayonnement vitre-extérieur	W/ (m ² .K)
I	La constante solaire	w/m ²
K	Conductivité de l'absorbeur	W/(m.K)
K_{is}	Conductivité thermique de l'isolant	W/(m.K)
l	longueur du capteur	m
q_n	Quantité de chaleur absorbée	W/ m ²
q_p	Quantité de chaleur perdue	W/ m ²
q_{par}	Pertes vers l'arrière	W/ m ²
q_{pav}	Pertes vers l'avant du capteur	W/ m ²
q_u	Quantité de chaleur utile	W/ m ²
S	Surface du capteur	m ²
T_1	Température de la surface S_1	°C
T_2	Température de la surface S_2	°C

T_a	Température ambiante	$^{\circ}\text{C}$
T_c	Température équivalente du ciel	k
T_p	Température de l'absorbeur	$^{\circ}\text{C}$
TSM	Temps solaire moyen	[heure]
TSV	Temps solaire vrai	[heure]
TU	Temps universel	[heure]
T_v	Température de vitrage	$^{\circ}\text{C}$
U_{ar}	Coefficient des pertes thermiques à l'arrière du capteur	$\text{W}/(\text{m}^2.\text{K})$
U_{av}	Coefficient des pertes thermiques à l'avant de la vitre	$\text{W}/(\text{m}^2.\text{K})$
U_L	Coefficient global des pertes	$\text{W}/(\text{m}^2.\text{K})$
V_f	Vitesse d'écoulement du fluide	m/s
V_v	Vitesse du vent	m/s
Δ	Epaisseur entre la vitre et l'absorbeur	[m]
ΔT	L'écart de température	K

Lettres grecques

Grandeur	Désignation	Unité
σ	Constant de Stephan-Boltzmann	$\text{W}/(\text{m}^2.\text{k}^4)$
δ	Déclinaison du soleil	($^{\circ}$)
ω	Angle horaire	($^{\circ}$)
η	Rendement thermique du capteur	%
ρ	Masse volumique du fluide	kg/m^3
ϵ_l, ϵ_l	Emissivité du milieu	[/]
ϵ_{ab-v}	Facteur d'émissivité de l'absorbeur côté vitrage	[/]
μ_f	Viscosité dynamique du fluide	$\text{kg}/(\text{m}.\text{s})$
ϵ_v	Emissivité du vitrage	[/]
ϵ_s	Emissivité d'absorbeur	
i	Angle d'inclinaison du capteur	($^{\circ}$)
α	Coefficient d'absorptivité absorbeur	[/]
τ_v	Coefficient de transmission de la vitre	[/]
Φ_g	Flux global reçu par le capteur	W

Indice

symbole	Dénomination
c	ciel
v	vitre
a	ambient
s	absorbeur

Introduction

Générale

Introduction générale

L'énergie solaire est fluctuante et instantanée. Pour dimensionner un système solaire il faut pour la région considérée définir le profil des fluctuations annuelles du rayonnement solaire en intensité et en qualité à partir d'étude. Aussi un système énergétique solaire est mis en place en un lieu donné pour fournir de l'énergie sous une forme ou une autre, mécanique, thermique, électrique doit être dimensionné en fonction de ces fluctuations.

Ce travail est consacré à l'étude des pertes thermiques dans les capteurs solaires plans qui sont des convertisseurs d'énergie solaire en énergie calorifique.

Dans ce mémoire on présente cinq chapitres dont le premier est l'étude bibliographique des études menées relatives à ce sujet. Le deuxième chapitre est une étude théorique sur le gisement solaire en général et ses fluctuations en fonction du temps et de l'espace. Le troisième chapitre est consacré à la technologie de conversion de l'énergie solaire, ses différentes formes de transformations et utilisations. Le quatrième chapitre permet de comprendre le bilan thermique des échanges de chaleur qui ont lieu dans le système pour pouvoir calculer les coefficients d'échange de chaleur et de pertes thermiques.

Ensuite le cinquième chapitre expose les résultats obtenus à partir de la simulation menée. L'ensemble est précédé d'une introduction et terminé par une conclusion générale.

Chapitre I

Etat De l'art

I.1.Introduction :

Dans ce chapitre nous avons en première phase étudié les travaux réalisés qui sont menés et qui ont eu le même objectif, surtout l'optimisation de ces systèmes dépendant de la variation des pertes thermiques en fonction quelque paramètres pour obtenir une idée sur leurs importance sur le bilan thermique.

I.2. Effet de la largeur du capteur:

Le travail mené par M.T.Baissi [1] est une étude théorique et expérimentale des paramètres de fonctionnement d'un capteur solaire plan. En considérant certaines dimensions caractéristiques maintenues constantes, L'auteur montre à chaque fois l'effet d'un paramètre : La largeur sur les performances thermiques est montrée sur les figures (I-1 et 2) qui présentent leur évolution en fonction de la variation de la largeur du capteur :

Longueur du capteur, $L_c = 1,5$ [m], épaisseur de la lame d'air immobile, $e_v = 25$ [mm], épaisseur de l'isolant placé à l'arrière du capteur, $e_{is} = 0,1$ [m], épaisseur de la veine d'air mobile, $e = 30$ [mm] [1].

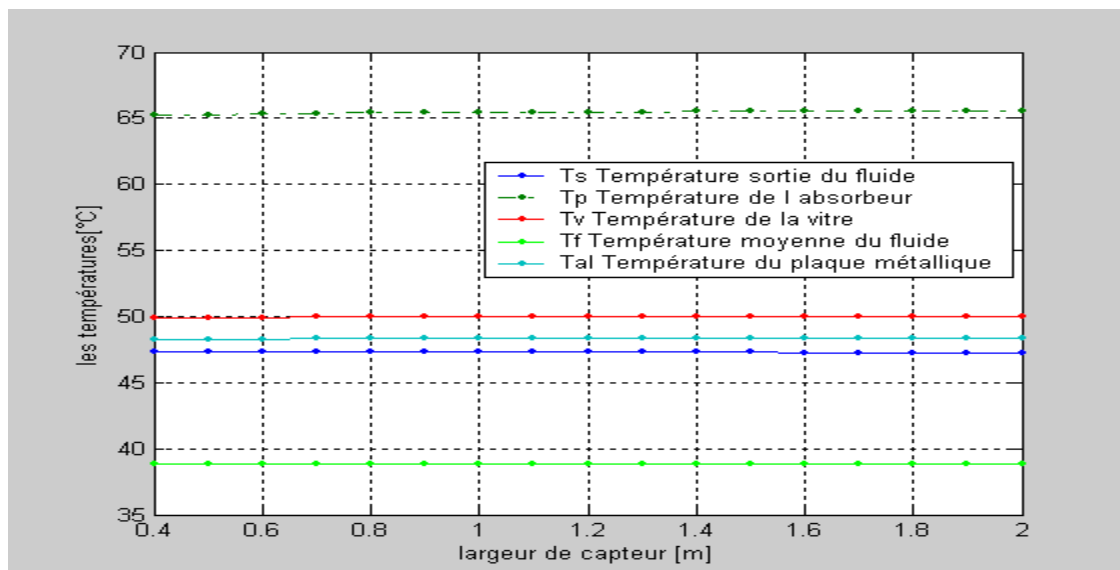


Fig.I.1.Effet de la largeur du capteur sur les différentes températures (à la sortie et moyenne du fluide, de l'absorbeur, de la vitre et de la plaque métallique placée sur l'isolant en aluminium)[1].

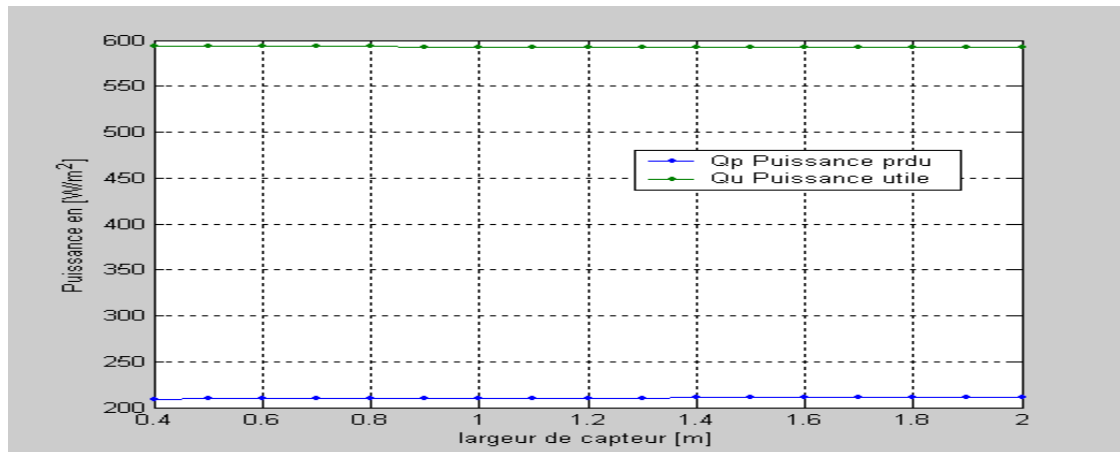


Fig.I.2. Effet de la largeur du capteur sur la puissance perdue (Q_p) et la puissance utile récupérée par le fluide (Q_u) [1].

Il a conclu que la variation de la largeur du capteur solaire n'a pas d'impact significatif sur les performances thermiques du capteur solaire.

Le travail mené par M.Zedayria [2], est un un effet des paramètre géométrique, thermophysiques et optiques sur les performances thermique des capteurs solaires plans à air, ce figure montre effet de la largeur du capteur sur le coefficient globale des pertes thermiques[2].

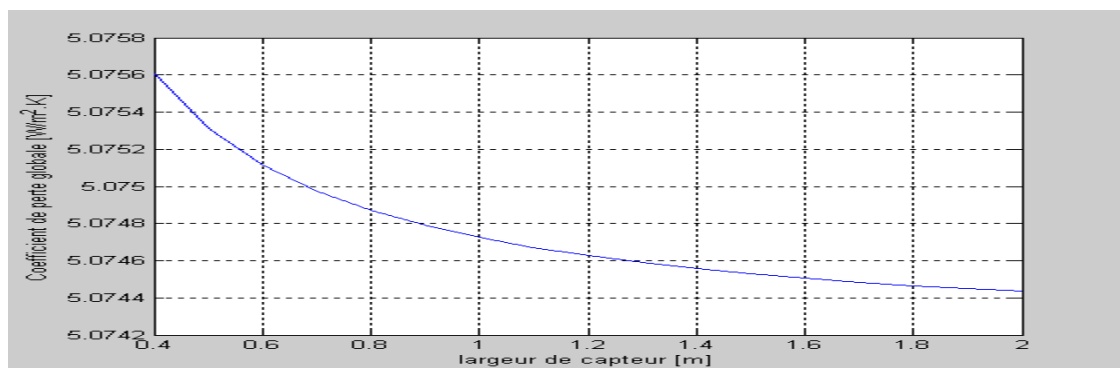


Fig.I.3. Effet de la largeur du capteur sur le coefficient globale des pertes thermiques [2].

I.3. Effet de la longueur du capteur:

Comme précédemment, en considérant les dimensions caractéristiques suivantes constantes, et en variant la longueur du capteur, l'évolution des paramètres de performances en fonction de ce paramètre géométrique sont montrées sur les figures (I.4 et 5) : Largeur de capteur, $l_c=1$ [m], épaisseur de la lame d'air immobile, $e_v=25$ [mm], épaisseur de l'isolant placé à l'arrière du capteur $e_{is}=0,1$ [m], épaisseur de la veine d'air mobile, $e=30$ [mm][1].

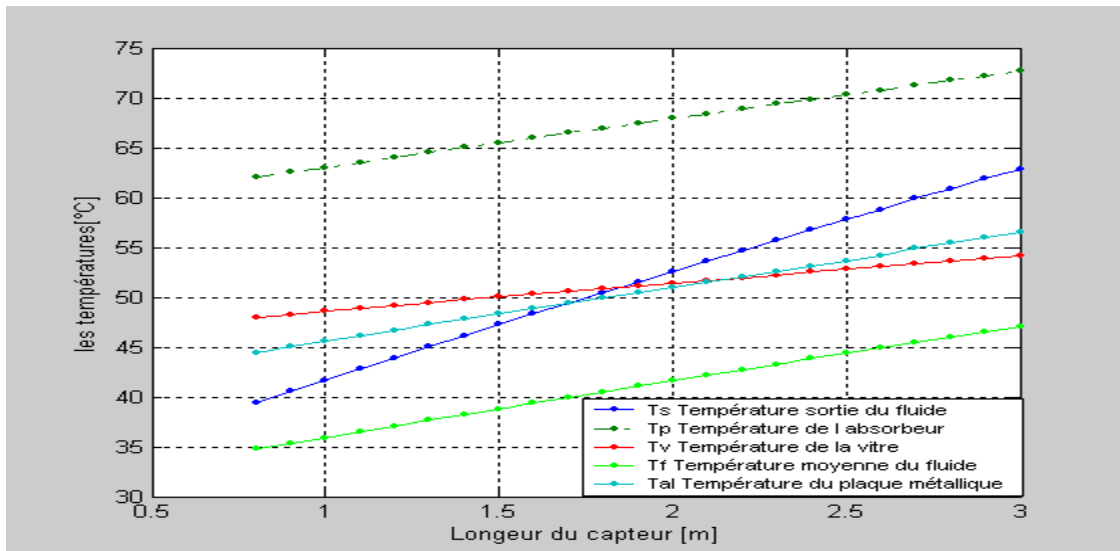


Fig. I. 4. Effet de la longueur du capteur sur les différentes températures (à la sortie et moyenne du fluide, de l'absorbeur, de la vitre et de la plaque métallique placée sur l'isolant en aluminium)[1].

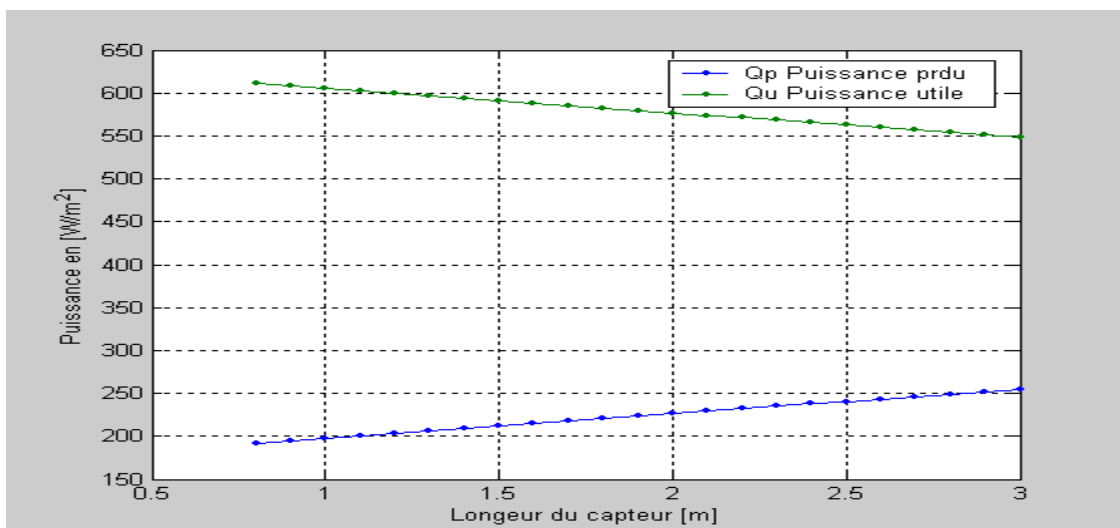


Fig. I. 5. Effet de la longueur du capteur sur la puissance perdue (Q_p) et la puissance utile récupérée par le fluide (Q_u)[1].

Il a conclu que l'augmentation de la longueur du capteur a une importante influence sur la température de l'absorbeur. Cette influence correspond à une augmentation des échanges thermiques par convection avec l'extérieur en obéissant à l'équation décrite par $Q_p = U_L (T_p - T_a)$, mais comme la température de l'absorbeur augmente et la surface d'échange aussi, selon l'augmentation de la longueur, la puissance utile diminue par contre la puissance perdue augmente à travers la longueur du capteur solaire.

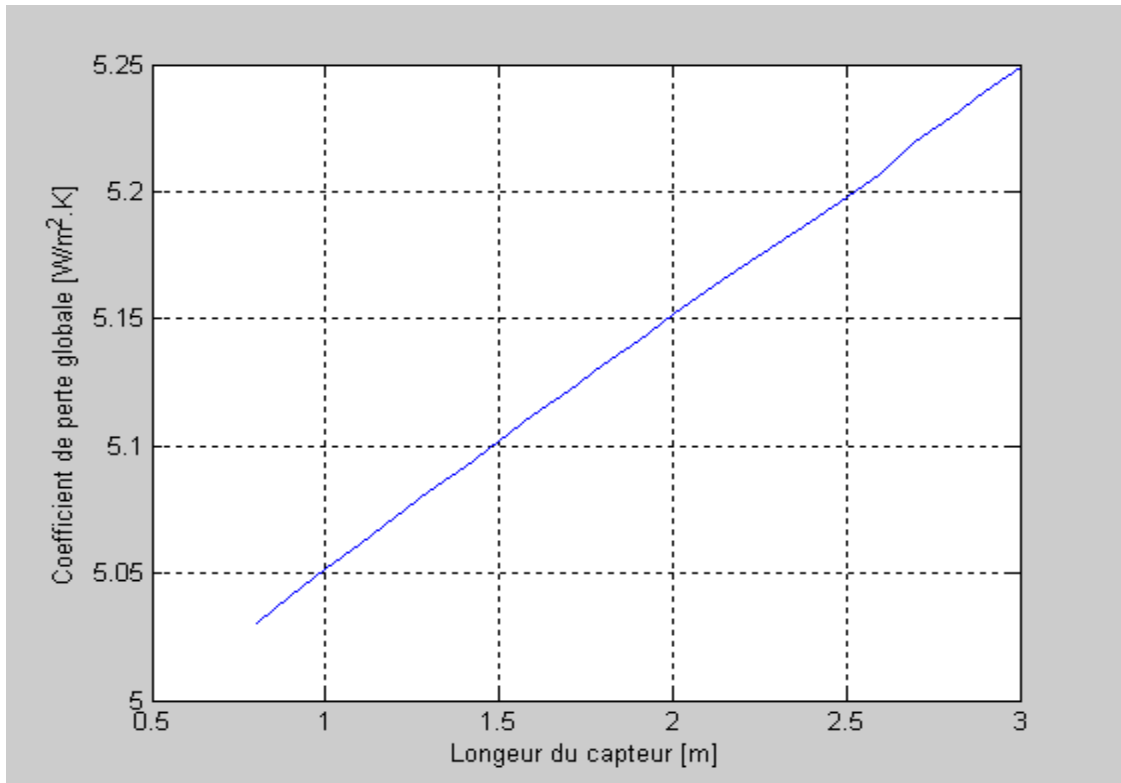


Fig.I.6.Effet de la longueur du capteur sur le coefficient globale des pertes thermiques [2].

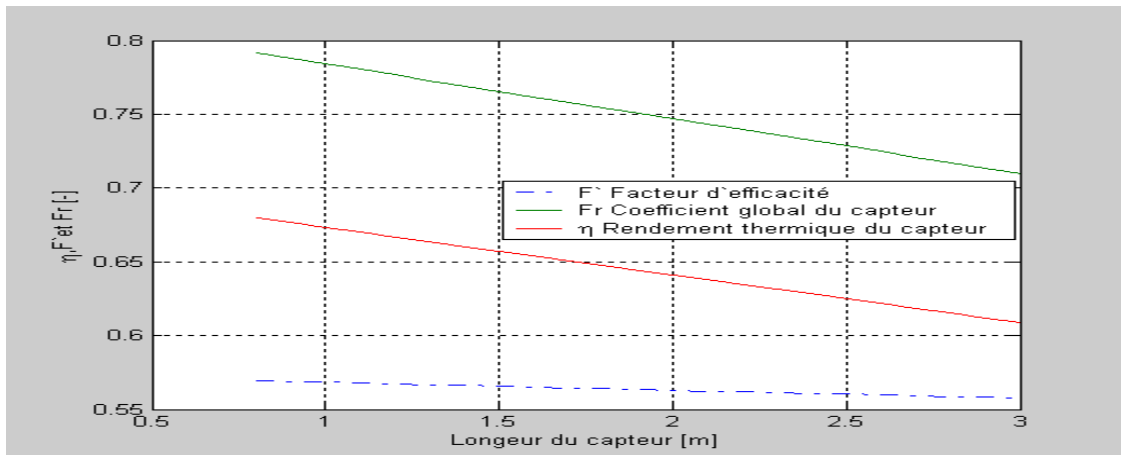


Fig. I.7.Effet de la longueur du capteur sur le facteur d'efficacité (F'), le coefficient de conductance global(F_r) et le rendement (η) [2].

I.4.le coefficient d'échange convectif:

Ce travail a été fait par C.Mahboub [3] est une Analyse des principaux facteurs d'optimisation des performances d'un capteur solaire plan à air, qui fait quelque étude comme

- du coefficient d'échange convectif entre l'absorbeur et l'air ce qui traduit la qualité d'échange thermique :

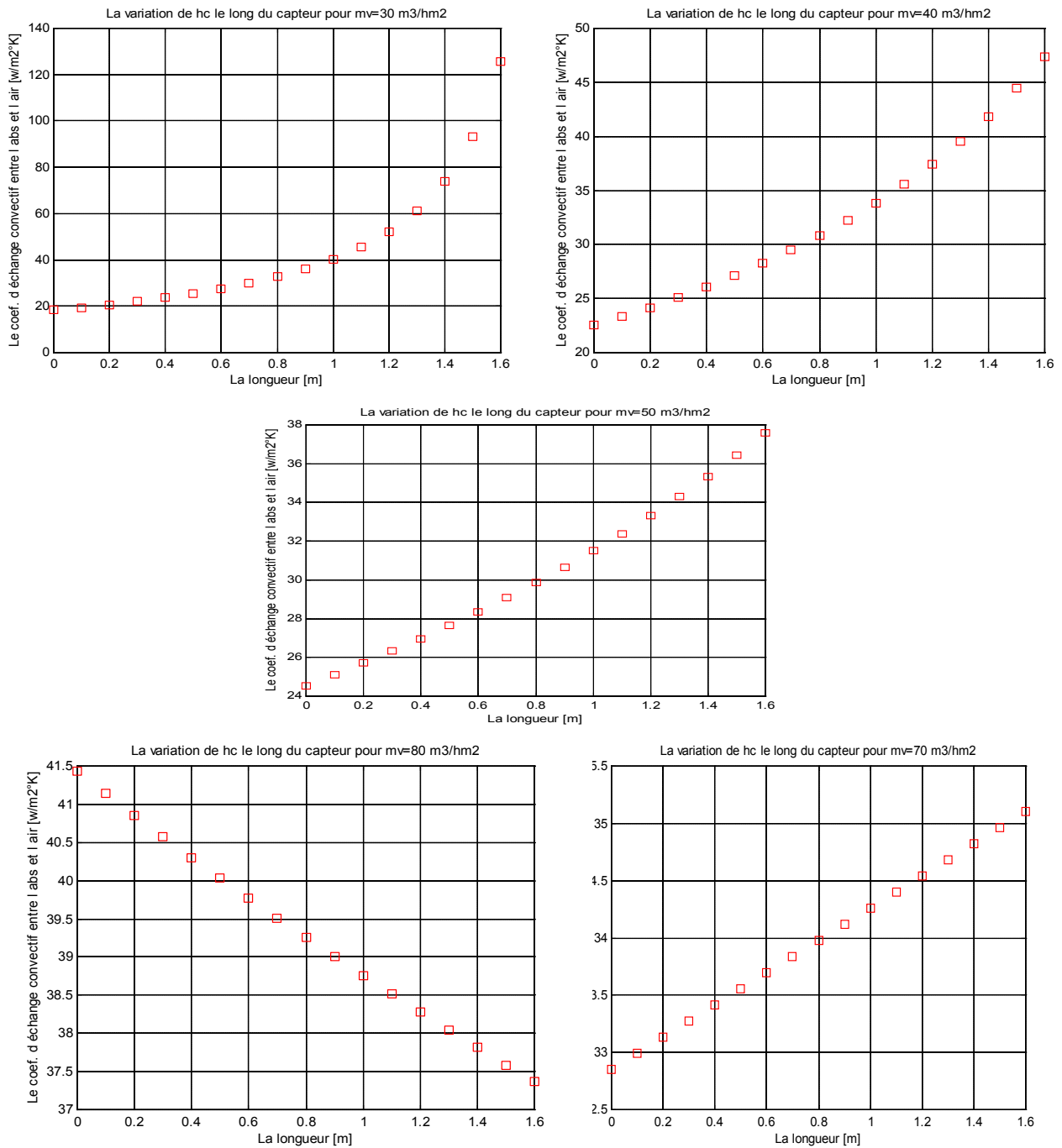


Fig.I.8. la variation de coefficient d'échange entre la vitre et l'absorbeur [3].

Les courbes qui suivent représentent la variation des coefficients de pertes le long du capteur, elles nous permettent d'observer l'influence des matériaux de l'absorbeur et de la vitre sur les pertes thermiques du capteur vers l'extérieur :

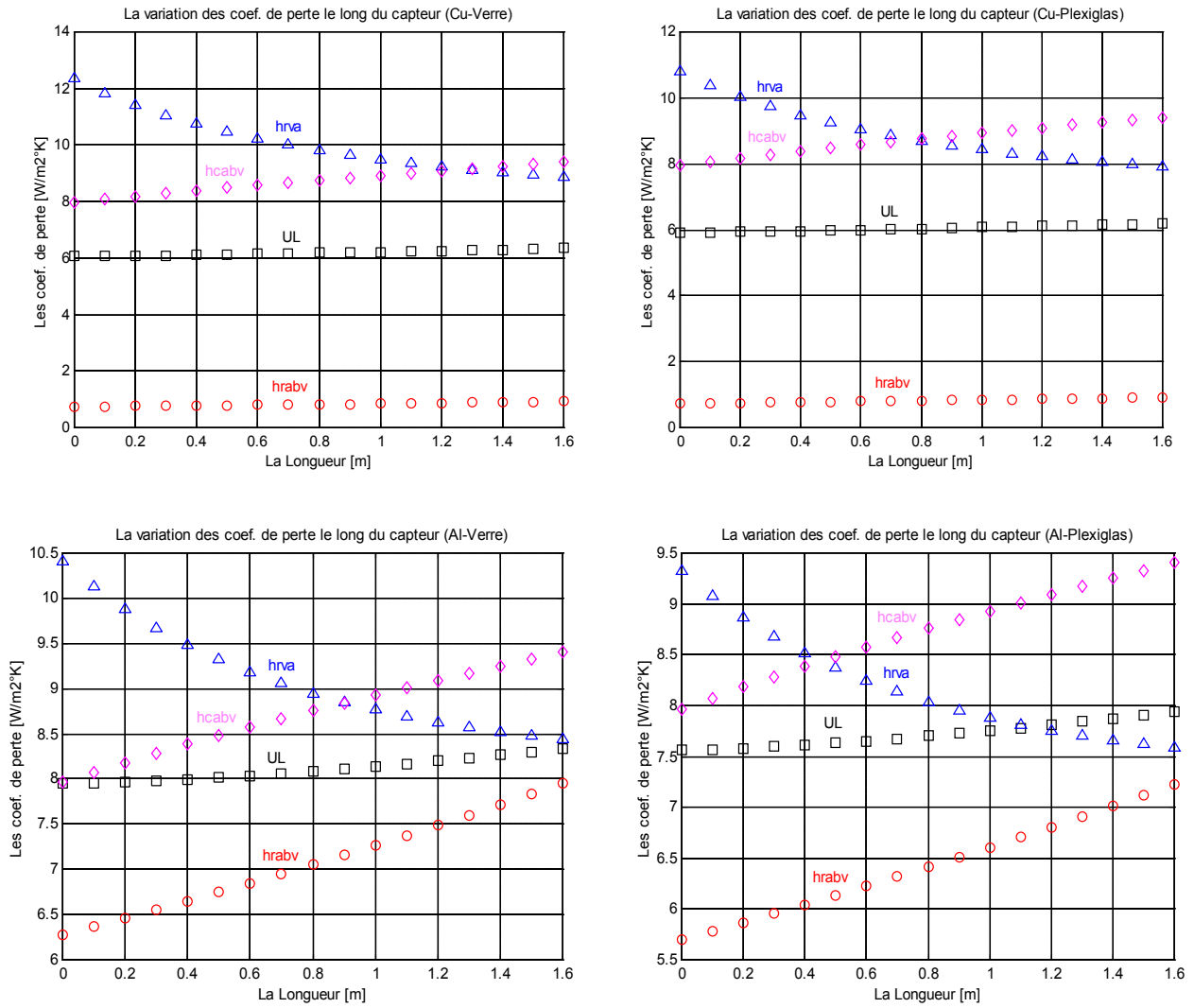
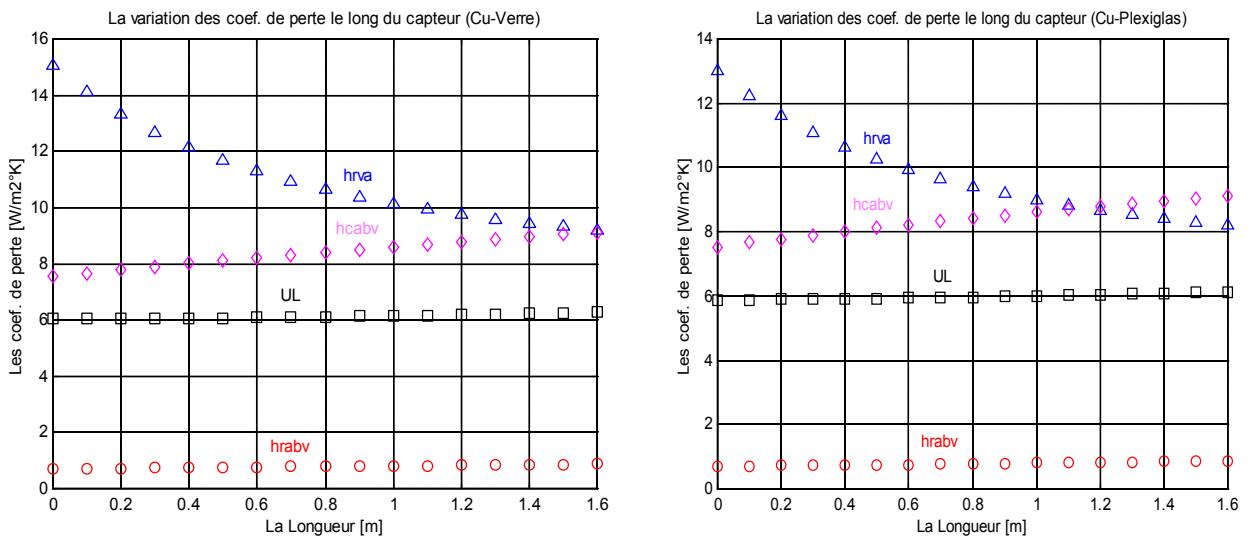


Fig.I.9. la variation de coefficient de perte le long du capteur pour différent matériaux

d'absorbeur et de vitre pou un débit $m_v = 30 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$ [3].



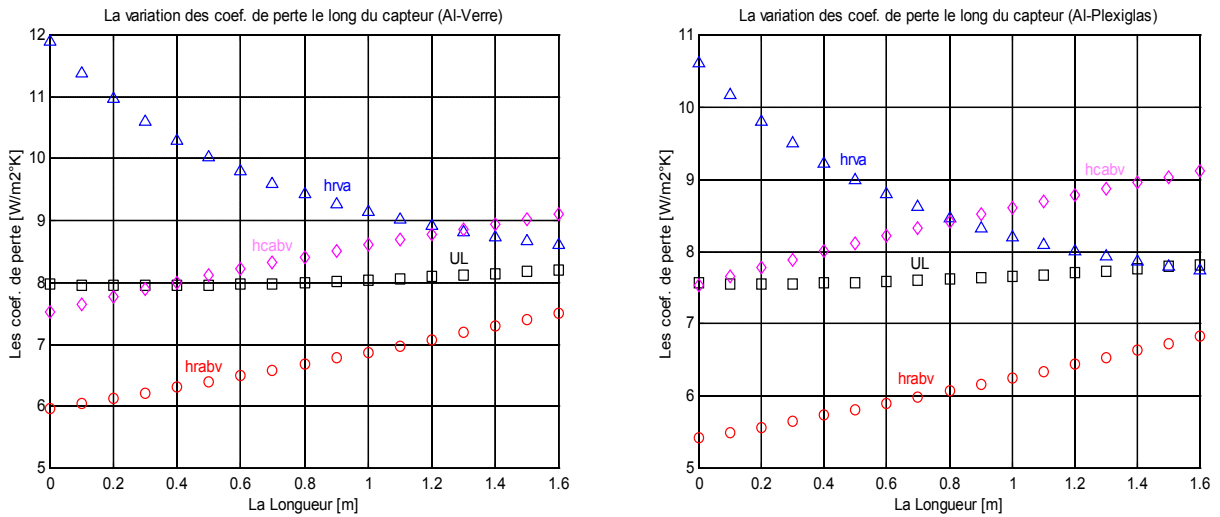


Fig.I.10. la variation de coefficient de perte le long du capteur pour différent matériaux d'absorbeur et de vitre pou un débit $m_v = 50 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$ [3].

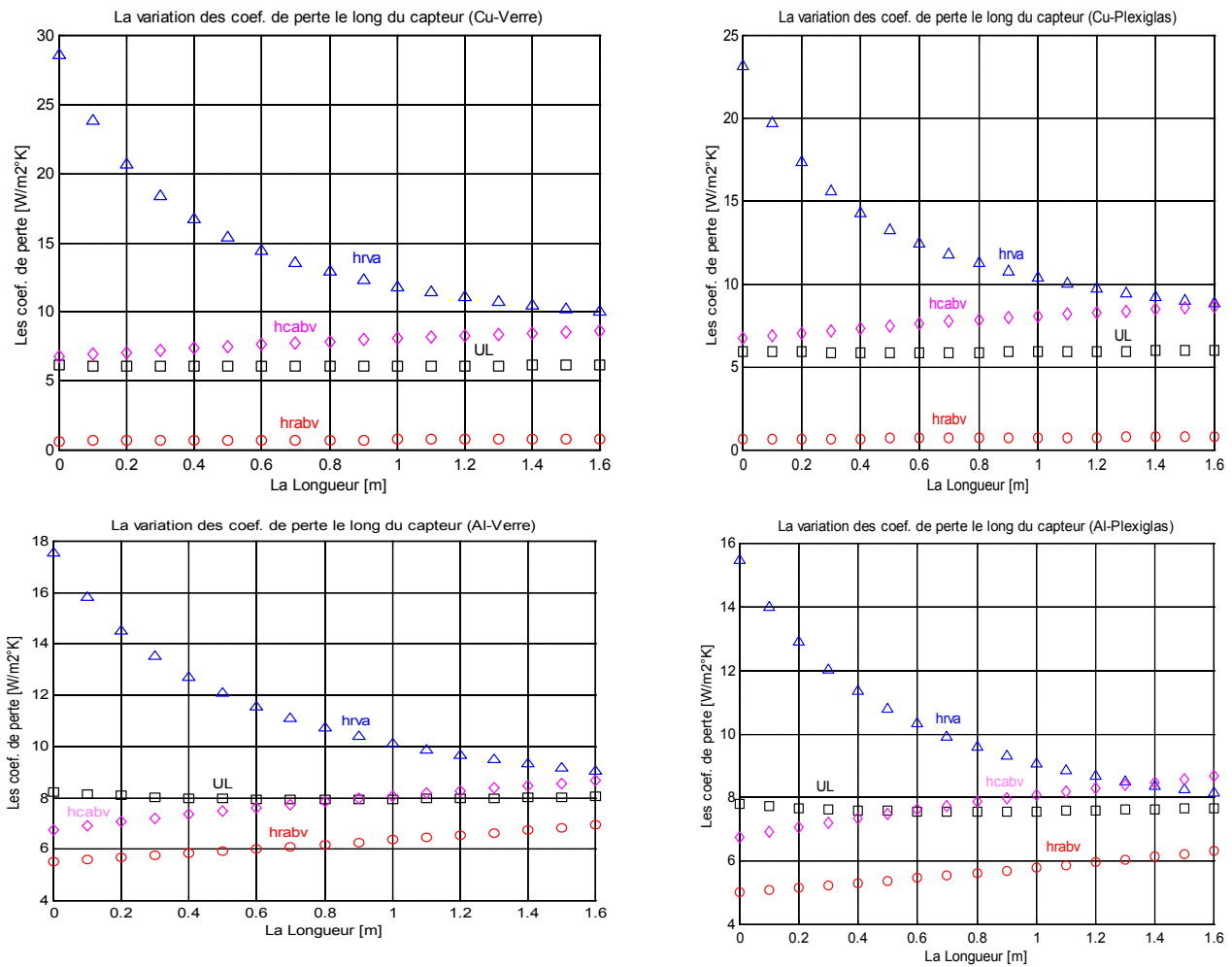


Fig.I.11. la variation de coefficient de perte le long du capteur pour différent matériaux d'absorbeur et de vitre pou un débit $m_v = 80 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$ [3].

I.5. La température de l'absorbeur :

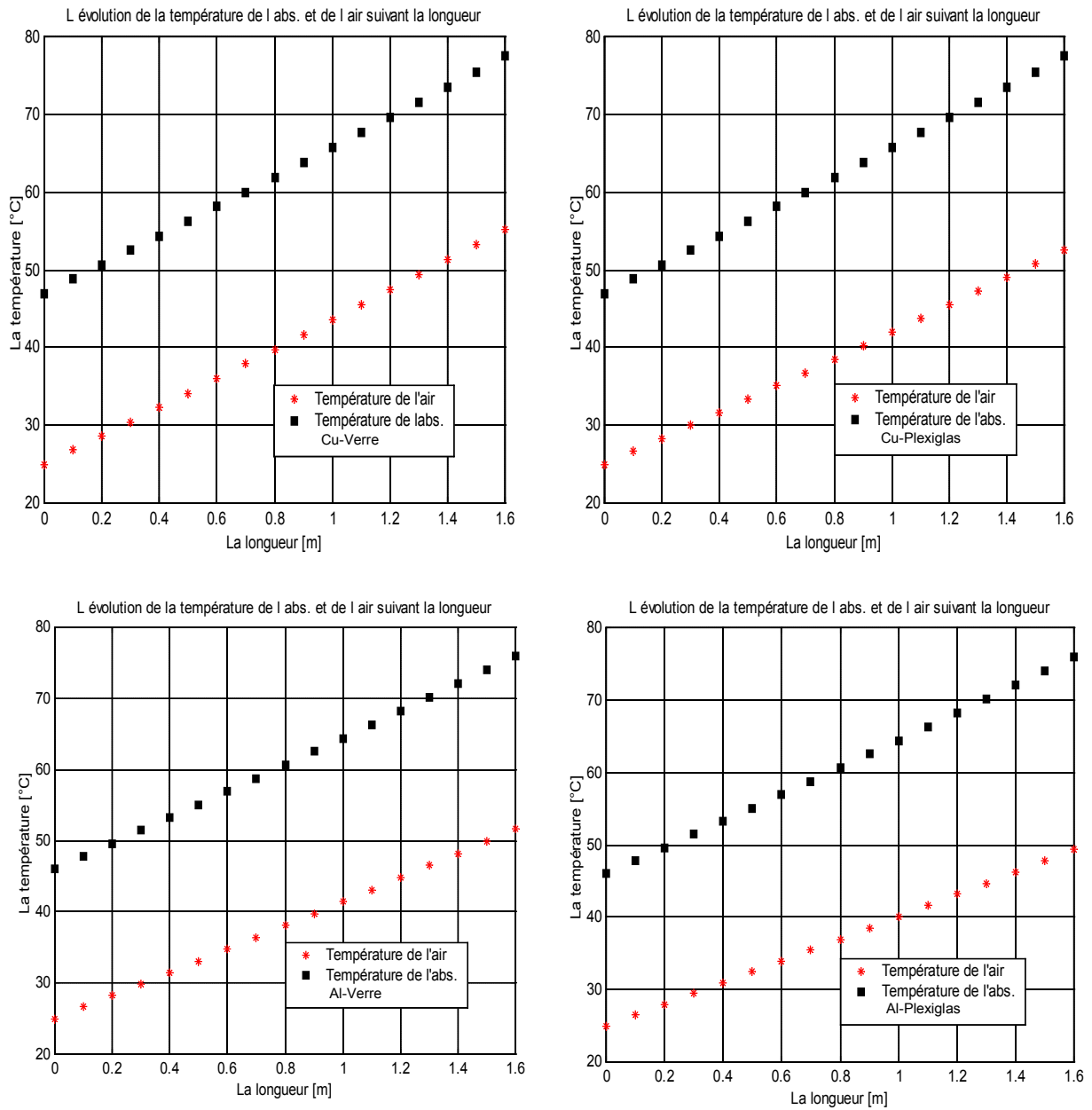


Fig .I.12.l'évolution de la température de l'absorbeur et de l'air le long du capteur pour un débit $m_v = 70m^3/h.m^2[3]$.

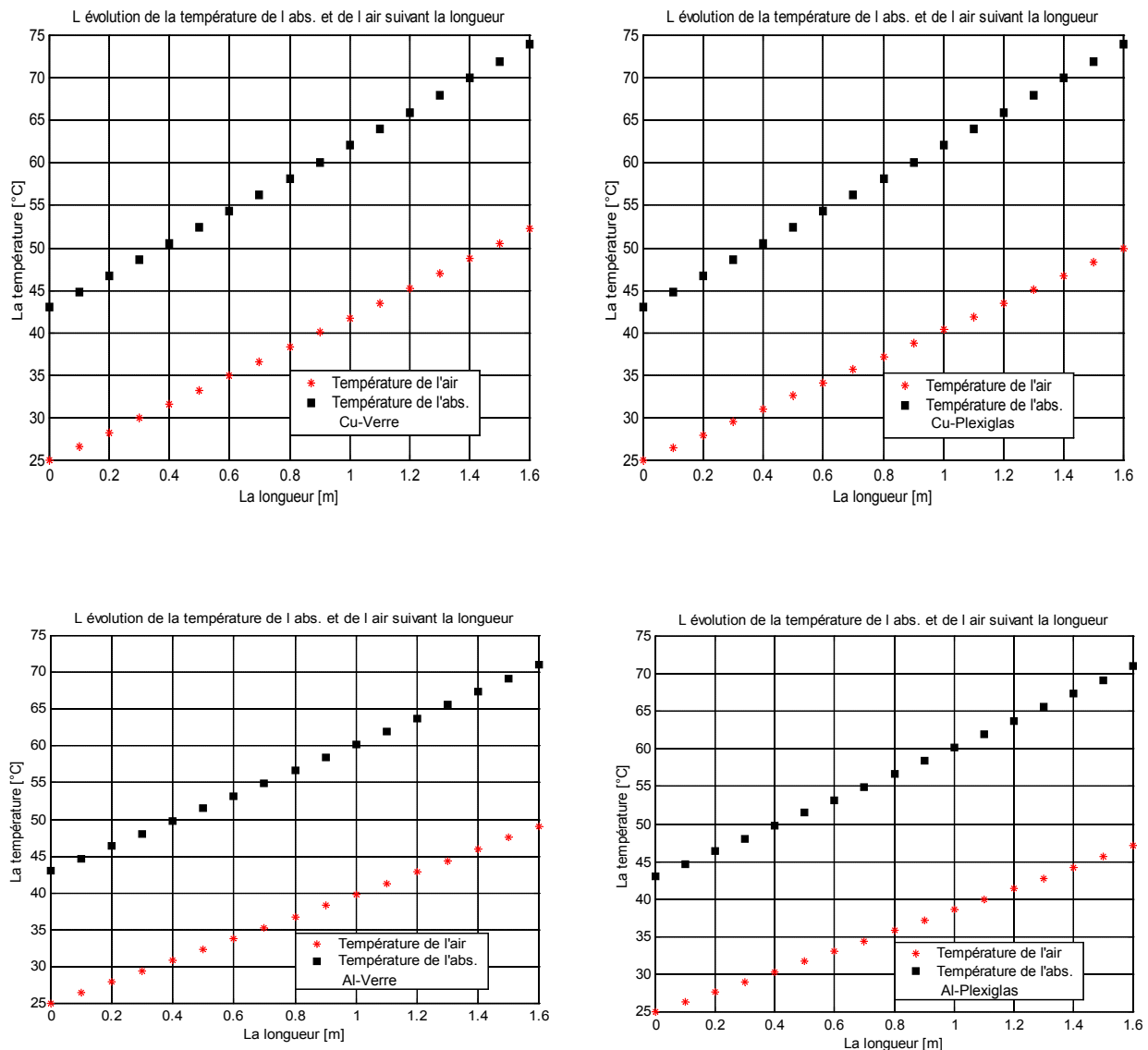


Fig.I.13. l'évolution de la température de l'absorbeur et de l'air le long du capteur pour un débit $m_v = 80 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$ [3].

Ces figures traduisent l'écart absolu de la température entre l'absorbeur et l'air à l'entrée jusqu'à la sortie pour différents débits et configurations du capteur. On remarque que cet écart est grand à l'entrée du capteur et commence à diminuer jusqu'à la sortie et ceci pour des valeurs de débit inférieur à $70 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ pour la configuration (Cuivre, Verre)[3].

I.6. Conclusion :

Les recherches effectuées par certains chercheurs ont révélé que l'optimisation des capteurs solaires est liée à certaines propriétés physiques et techniques. Nous avons remarqué que la géométrique du capteur joue un grand rôle sur la diminution ou l'augmentation des pertes thermiques (l'absorbeur, le couverture, les dimensions...).

Chapitre II

Le gisement solaire

II.1.Introduction:

Le soleil a une importance et elle est à l'origine de la vie sur terre. Il fournit d'énormes quantités d'énergie, qui permettent la présence de l'eau et la photosynthèse des végétaux. Le rayonnement solaire est aussi responsable du climat et des phénomènes météorologiques.

II.2.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 2.1027 tonnes. Toute l'énergie du soleil provient des réactions thermo – nucléaires qui s'y produisent. Elles transforment des tonnes d'hydrogène en tonnes d'hélium. La terre étant à une distance de 150.106 km du soleil, elle reçoit approximativement une énergie de 1,8.1014 KW [4].

II.2.1.La constante solaire:

La valeur du rayonnement solaire " I_c ", 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 " I_0 " appelée constante solaire est de l'ordre de 1354 W.m⁻² [4]. En première approximation, on peut calculer la valeur de " I_c " en fonction du numéro du jour de l'année " n_j " par la relation suivante :

$$I_c = I_0[1 + 0.033 \times \cos(0.984 \times n_j)] \quad (II.1)$$

II.3. Caractéristiques de la terre:

Les principales caractéristiques sont données dans le tableau suivant :

Caractéristiques	Valeur
Masse	6. 10 ²¹ t
Volume	1083320. 10 ⁶ km ³
Surface	510101. 10 ³ km ²
Diamètre équatorial	12756,32km
Diamètre polaire	12713,55km

Tableau .II.1.Caractéristiques principales de la terre [5].

II.3.1. L'atmosphère terrestre

L'atmosphère est constituée de plusieurs couches on distingue notamment :

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

-L'ionosphère, entre 80 et 200 km d'altitude [5].

II.3.2. Mouvement 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, (fig. II.1). La révolution complète de la terre autour du soleil s'effectue en une année[6].

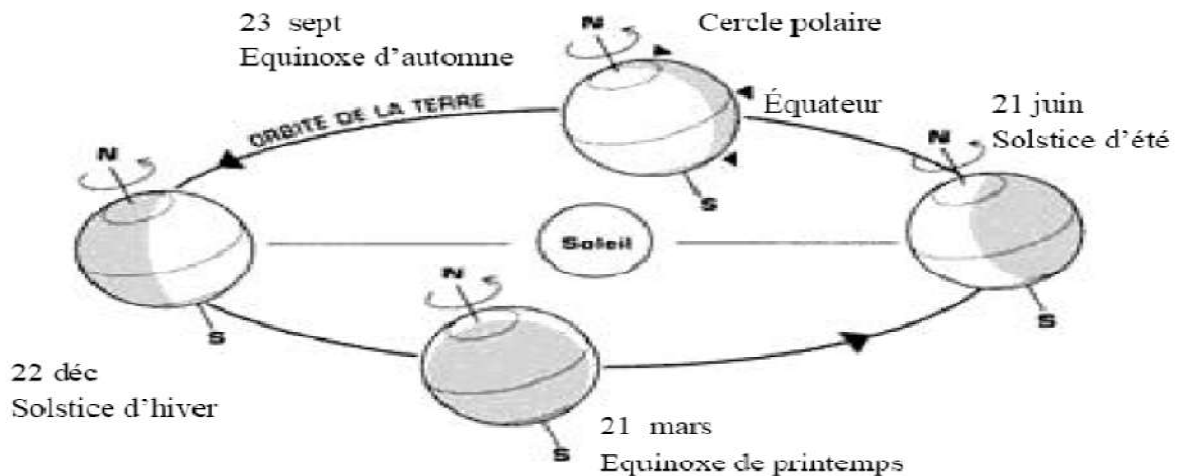


Fig.II.1.Mouvement de la terre autour du soleil [6].

II.4 .Rayonnement solaire:

Le soleil émet en permanence, dans toutes les directions de l'espace, des rayonnements électromagnétiques composés de photons. Ces rayonnements se propagent à la vitesse de la lumière ; il lui faut donc, en moyenne, 499 secondes, soit 8 minutes et 19 secondes, pour atteindre notre atmosphère.

a- Rayonnement extraterrestre

Le rayonnement solaire extraterrestre couvre un très large domaine de longueur d'ondes. Il ne dépend d'aucun paramètre météorologique, mais il est fonction de quelques paramètres astronomiques et géographique tel que: la latitude du lieu (ϕ), la déclinaison solaire(δ), et l'angle horaire au coucher du soleil (ω_0).

b- Irradiation solaire

L'irradiation solaire exprime la quantité d'énergie reçue, au niveau du sol, par unité de surface. Ses unités usuelles sont le Wh/m², ou bien kWh/m². Elle dépend de nombreux facteurs, dont principalement la couverture nuageuse, la durée du jour, l'instant considéré dans la journée, l'orientation et l'inclinaison de la surface, la latitude du lieu, et son degré de pollution.

c- Durée d'insolation

La durée d'insolation correspond au nombre d'heures dans la journée, entre le lever et le coucher du soleil, où celui-ci est bien visible [7].

d- Composantes du rayonnement solaire:

Le spectre de rayonnement solaire à la surface de la terre est constitué de différentes composantes (figure-II-2). Le rayonnement direct provient directement du Soleil, tandis que le rayonnement diffus est diffusé par le ciel et le milieu extérieur. Un autre rayonnement encore est réfléchi par le milieu extérieur (la terre ou la mer) en fonction de l'albédo local. Le rayonnement terrestre total est appelé rayonnement global [8].

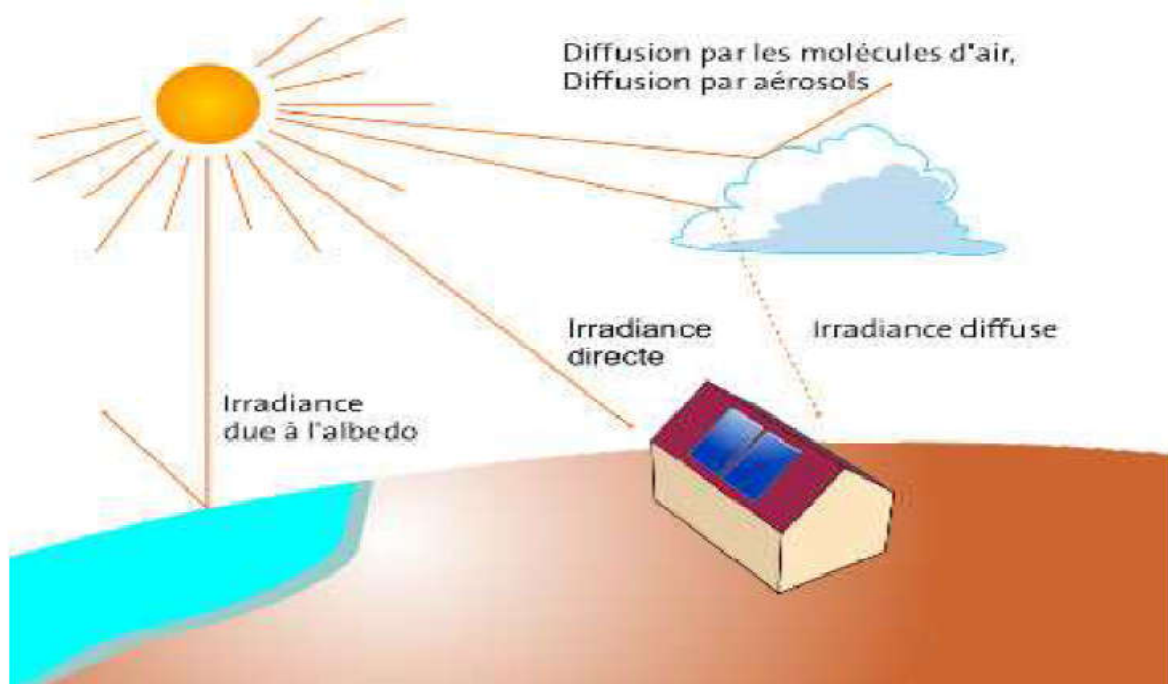


Fig.II.2.Composantes du rayonnement solaire au niveau du sol [8].

II.5.Différents types de rayonnement:

II.5.1. Le rayonnement direct :

Le rayonnement direct est le rayonnement solaire incident sur un plan donné et provenant d'un angle solide centré sur le disque solaire.

II.5.2. Le rayonnement diffus :

Le rayonnement diffus est le rayonnement émis par des obstacles (nuages, sol, bâtiments) et provient de toutes les directions.

La conversion photovoltaïque utilisant les modules utilise aussi bien le rayonnement direct que le rayonnement diffus.

II.5.3. L'albédo :

C'est la fraction d'un rayonnement incident diffusée ou réfléchi par un obstacle. C'est une valeur moyenne de la réflectance pour le rayonnement considéré et pour tous les angles d'incidences possible. Par définition, le corps noir possède un albédo nul [9].

Surfaces	Albédo
Neige fraîche	0,8 à 0,9
Neige ancienne	0,5 à 0,7
Sol rocheux	0,15 à 0,25
Sol cultivé	0,07 à 0,14
Forêt	0,06 à 0,20
Étendue d'eau	0,05

Tableau.II.2.L'albédo typique de différentes surfaces [7].

II.5.4. Le rayonnement global :

C'est tout simplement la somme de ces diverses contributions [9].

II.6 .Les coordonnées géographiques:

Pour repérer un site donné à la surface terrestre, on définit les grandeurs suivantes :

-La latitude θ :

C'est l'angle θ que fait la verticale du lieu avec le régime équatorial (figure II.3). Si $\theta > 0$, le site se trouve dans l'hémisphère nord, sinon le site est dans l'hémisphère sud.

- La longitude φ :

C'est l'angle φ formé par le méridien de Greenwich et le méridien du lieu considéré (figure.II.3). La longitude est comprise entre -180 (vers l'ouest) et +180 (vers l'est). La terre en 24 heures fait un tour sur elle-même (360 °), chaque heure représente 15° d'écart de longitude et ainsi, chaque degré de longitude représente 4 minutes.

- L'altitude

C'est l'élévation du point de mesure par rapport au niveau de la mer [10].

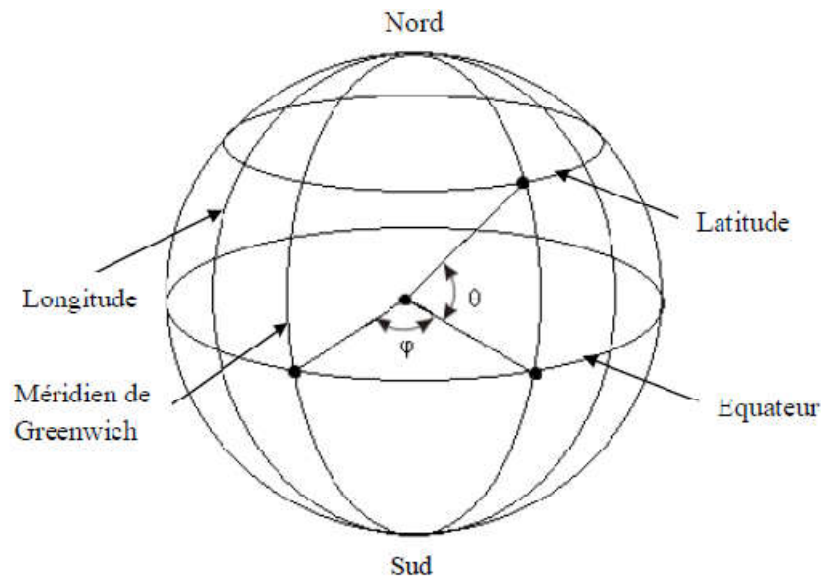


Fig.II.3.Coordonnées géographiques [10].

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

II.7.Coordonnées horaires :

Les coordonnées horaires sont liées à l'heure de l'observation. Elles ont comme plan de référence le plan de l'équateur. Les coordonnées horaires sont au nombre de deux :

-Déclinaison du soleil (δ)

C'est l'angle formé par la direction du soleil (la droite OM) Fig.II.4: et le plan équatorial terrestre, elle varie de façon sinusoïdale au cours de l'année. Plusieurs expressions ont été développées pour évaluer la déclinaison, la plus simple est celle utilisée par Cooper [10].

$$\delta = 23.45^\circ \sin[0.980^\circ(j+284)] \quad (\text{II.2})$$

avec J le numéro du jour de l'année à compter à partir du 1^{er} janvier.

-Angle horaire du soleil ω

Le cercle horaire qui contient le zénith de l'observateur est appelé méridien. L'angle horaire est l'angle entre le méridien et le cercle horaire qui contient l'astre M. C'est l'angle avec lequel la terre doit tourner pour amener le méridien du point (lieu) considéré directement sous le soleil. Cet angle horaire est négatif si le temps solaire est inférieur à 12 h. L'angle horaire est donné par la relation suivante [10] :

$$\omega = 15(TSV - 12) \quad (\text{II.3})$$

avec TSV le temps solaire vrai exprimé en heure.

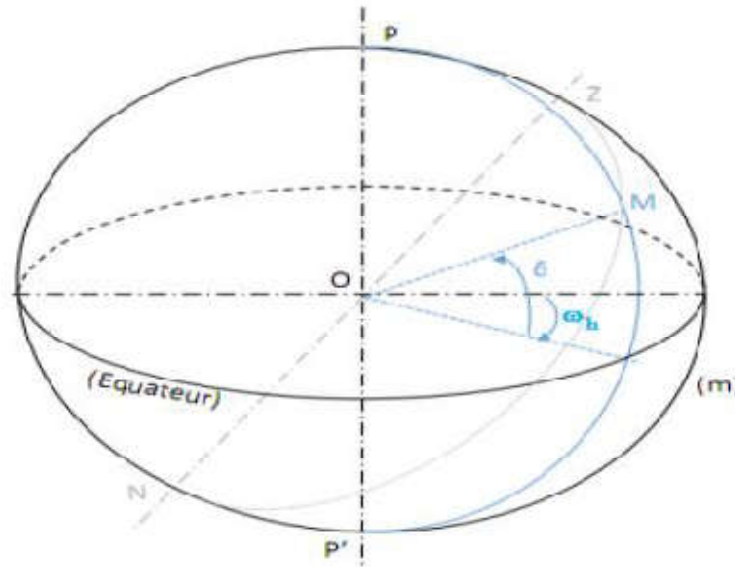


Fig.II.4.Coordonnées horaires [10].

II.8. Coordonnées horizontales :

Les coordonnées horizontales dépendent du lieu d'observation. Elles ont comme plan de référence le plan horizontal du lieu d'observation (H) et le demi-méridien sud (m) [10] :

-La hauteur du soleil (h)

La hauteur du soleil est l'angle en degré qui sépare l'astre M du plan horizontal (H). Elle est donnée par la relation suivante:

$$\sin(h) = \sin\theta \sin\delta + \cos\theta \cos\delta \cos\omega \quad (\text{II.4})$$

$h = 0^\circ$ au lever et au coucher du soleil, sa valeur est maximale à midi temps solaire vrai.

-Azimut solaire

C'est l'angle compris entre la projection de la direction du soleil sur le plan horizontal et la direction sud locale. L'azimut est compté négativement vers l'Est et positivement vers l'Ouest. Il est donné par la relation suivante:

$$\sin(\alpha) = (\cos(\delta) \sin(h)) / \cos(h) \quad (\text{II.5})$$

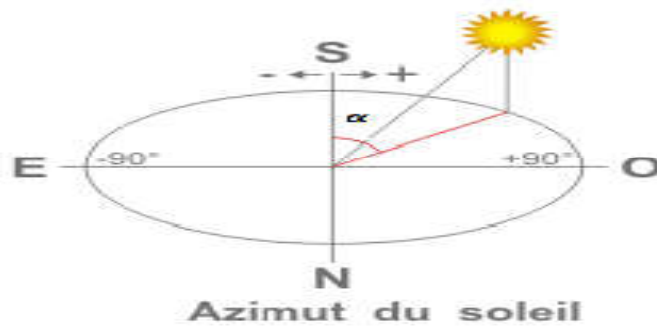


Fig .II.5. Azimut du soleil (α) [7].

II .9. Notions de Temps:

II.9.1. Temps solaire vrai (TSV) :

Le temps solaire vrais, en un instant et un lieu donné est l'angle horaire du soleil. Il est donné par la relation suivante:

$$\text{TSV} = 12 + \omega/15 \quad (\text{II.6})$$

II.9.2. Temps solaire moyen (TSM):

Le temps solaire moyen est appelé parfois temps local, Il est donné par la relation suivante :

$$\text{TSV}-\text{TSM}=\text{ET} \quad (\text{II.7})$$

ET est l'équation du temps qui corrige le TSV par apport au TSM :

$$\text{ET}=9.87 \times \sin(2 \times N') - 7,53 \times \cos(N') - 1,5 \times \sin(N') \quad (\text{II.8})$$

$$N' = (n-81) \times \frac{360}{365} \quad (\text{II.9})$$

II.9.3. Temps universel (TU) :

Le temps universel est le temps civil moyen du méridien de Greenwich (méridien origine), appelé encore GMT (Green wich Mean Time). Il est donné par la relation suivante :

$$\text{TU}=\text{TSM}-L/15 \quad (\text{II.10})$$

Où : L est la longitude .Tel que :

$L < 0$: Pour les sites situés à l'Est de Greenwich.

$L = 0$: Pour les sites situés au méridien de Greenwich.

II.9.4. Temps légal (TL) :

Le temps légal est une heure liée au TU par une différence fixe exprimée en un nombre entier d'heures qui dépend de la longitude et des coutumes de chaque pays. Il est donné par la relation suivante :

$$TL = TU + \Delta h \quad (\text{II.11})$$

Où : ΔH : Est le décalage horaire entre le méridien de Greenwich et l'état considérée [11].

II.10. Conclusion :

Cette étude concernant le gisement solaire est faite pour rappeler des définitions générales sur le rayonnement solaire (caractéristique des rayonnements solaires, les coordonnées terrestres). Ceci est très important pour la comprendre mieux sa conversion en énergie.

Chapitre III

**Technologie de conversion de
l'Énergie solaire**

III.1.Introduction:

Les capteurs solaires (thermiques) sont des dispositifs chargés de l'interception de l'énergie solaire, par l'effet de serre. Ces systèmes se différencient par la forme géométrique (plane, concentrique), la nature du fluide caloporteur (gaz, liquide) et la température issue (basse, moyenne ou haute) [12].

III.2.Capteur solaire thermique:

III.2.1.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, ...). L'énergie solaire (rayonnement) est captée par la surface absorbante du capteur solaire. Un fluide caloporteur absorbe et véhicule une partie de l'énergie captée par l'absorbeur [13].

III.3. Différentes techniques de capteurs solaires:

- **Capteurs plans :**
 - Capteurs plans vitrés.
 - Capteurs plans non vitrés.
 - Capteurs plans à haute performance.

III.3.1.Capteurs plan vitrés

L'absorbeur est métallique transforme le rayonnement solaire en chaleur, transmet cette chaleur à un liquide caloporteur. L'absorbeur comporte une couche noire qui absorbe le rayonnement solaire et réduit les pertes par rayonnement d'une.

Pour des niveaux de températures de 35° à 90°C, il est nécessaire d'utiliser des capteurs avec vitrage. L'absorbeur est dans ce cas, métallique (en cuivre ou en aluminium), dans un caisson isolé en face arrière, et vitré en face avant [14].

La fonction du vitrage est de piéger le rayonnement en créant un effet de serre. Ce type de capteur est utilisé généralement pour la production d'ECS (eau chaude sanitaire).

Le schéma suivant présente la structure d'un capteur plan vitré. Figure (III.1).

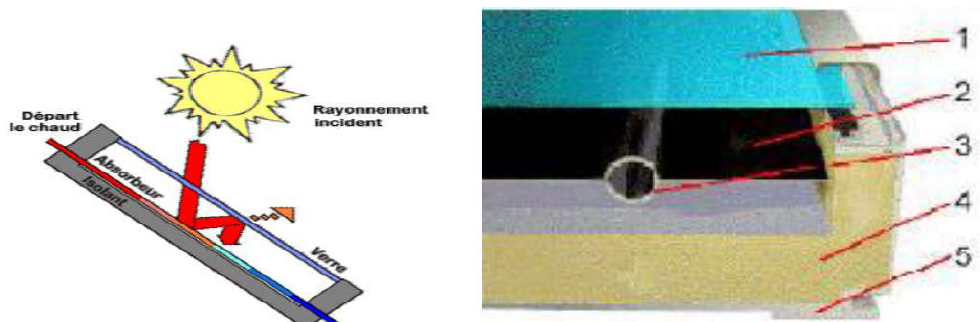


Fig.III.1.Coupe d'un capteur solaire plan vitré [14].

1. Un ou plusieurs couvertures transparentes
2. Une plaque absorbante
3. Un circuit hydraulique pour l'évacuation du fluide
4. Une isolation thermique
5. Un bac portant

III.3.2.Capteurs plans non vitrés

Ce capteur est le plus simple que l'on puisse imaginer, son application usuelle est le chauffage de piscine en plein air, il ne permet pas la production d'ECS sauf dans les pays chauds Il s'agit d'un seul absorbeur en matière synthétique pour les applications à basse températures en métal revêtu d'une couche sélective [14].

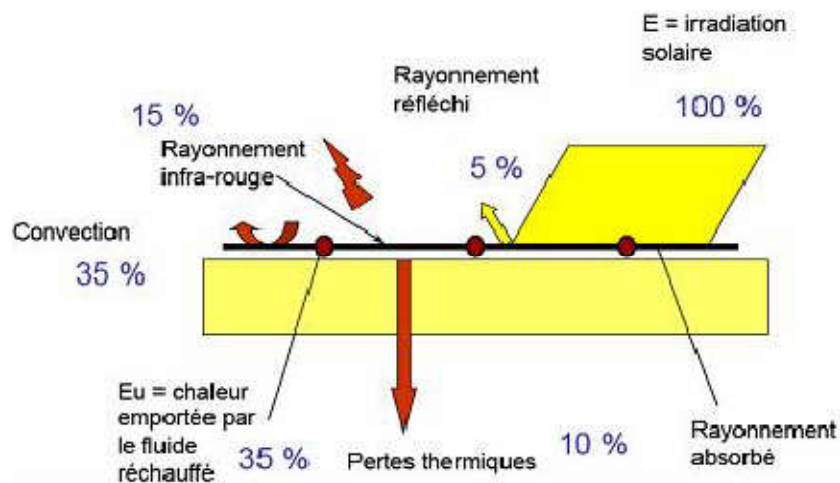


Fig.III.2. Principe de fonctionnement de capteur solaire non vitré à revêtement sélectif [15].

III.3.3.Capteurs à concentration:

Ces capteurs utilisent des surfaces réfléchissantes (miroirs) paraboliques ou cylindro-paraboliques pour concentrer les rayons solaires respectivement dans le foyer ponctuel ou

dans le foyer linéaire de ces surfaces. Dans le foyer ponctuel ou le long du foyer linéaire se trouvent les récepteurs (absorbeurs) qui captent la chaleur solaire ainsi concentrée.

III.3.4. Capteur cylindro-parabolique

C'est un capteur à concentration à foyer linéaire utilisant un réflecteur cylindrique de section parabolique. Les miroirs cylindro-paraboliques alignés concentrent la chaleur. Le circuit du fluide caloporteur passe au centre de chaque miroir et traverse l'ensemble du champ de capteurs [16].

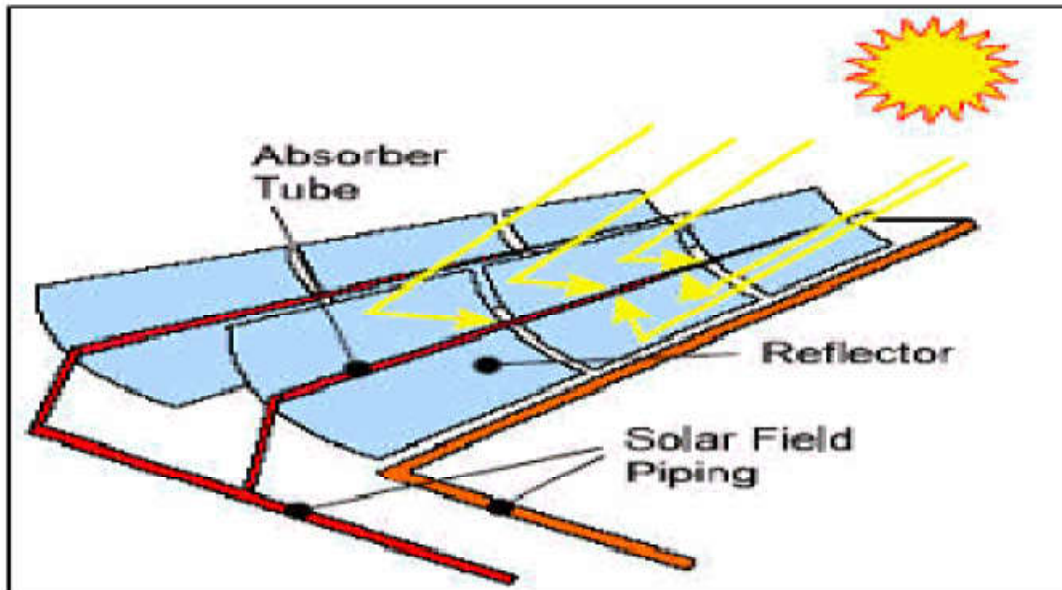


Fig.III.3. Schéma d'un capteur cylindro-parabolique [17].

III.3.5. Capteur parabolique

Les capteurs paraboliques fonctionnent d'une manière autonome et suivent le soleil et permettent de concentrer le rayonnement solaire sur le foyer de la parabole réfléchissante [16].

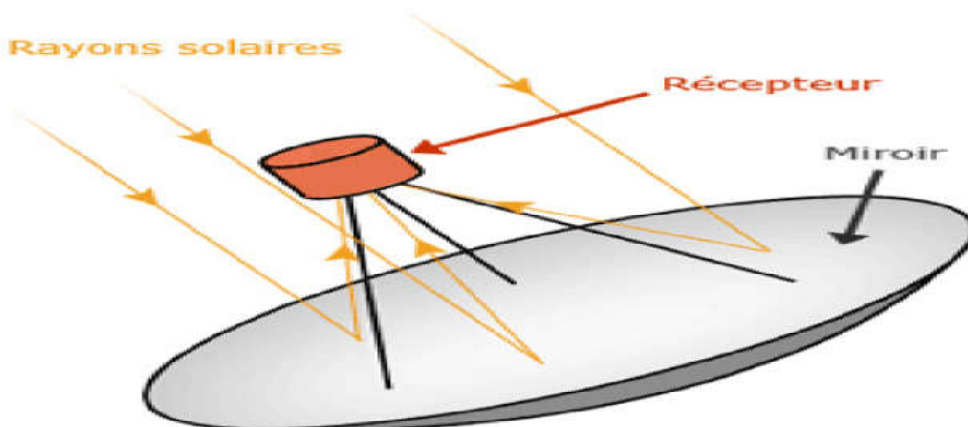


Fig.III.4. capteur parabolique [18].

❖ **Les avantages:**

- La diminution de la surface de l'absorbeur se traduit par une baisse des pertes thermiques qui sont proportionnelles à la surface,
- Les rendements sont par conséquent plus élevés,
- Les températures obtenues atteignent à plus de 4000°C en fonction du taux de concentration.

❖ **Les inconvénients :**

- Seul le rayonnement direct est utilisé.
- Les pertes optiques peuvent être importantes, car elles sont dues aux phénomènes de réflexion ou de réfraction, et aux caractéristiques géométriques du système.
- Les pertes thermiques sont importantes à cause du niveau de température plus élevé de l'absorbeur.
- Ces capteurs nécessitent un entretien régulier et de conserver la qualité optique des miroirs soumis aux poussières et à la corrosion de l'environnement [15].

III.3.6. Capteurs sous vide:

Un capteur solaire "sous vide" est composé d'une série de tubes transparents en verre de 5 à 15 cm. de diamètre. Dans chaque tube il y a un absorbeur pour capter le rayonnement solaire et un échangeur pour permettre le transfert de l'énergie thermique. Les tubes sont mis sous vide pour éviter les déperditions thermiques convectives de l'absorbeur et l'absorbeur reçoit un traitement sélectif pour empêcher le rayonnement [19].

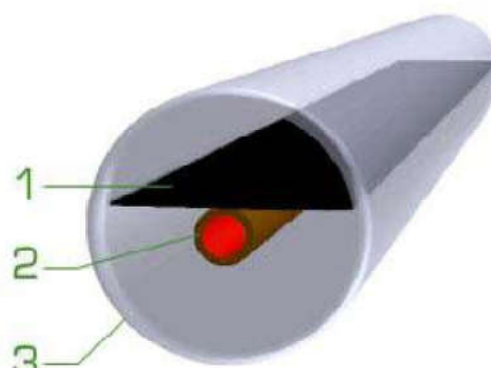


Fig.III.5. Capteur sous vide [19].

- 1- Absorbeur
- 2- échangeur
- 3- tube transparent

Il y a 4 familles de capteurs sous vide :

- a. Le capteur à tube sous vide à circulation directe
- b. Le capteur à tube sous vide à " Caloduc"
- c. Le capteur à tube sous vide à effet "Thermos"
- d. Le capteur à tube sous vide "Schott"

III.4. Le capteur solaire à eau :

On peut distinguer deux types de systèmes:

Le système de circulation à basse pression et le système de circulation à haute pression.

- **Le système à basse pression** : on emploie ce système pour le chauffage des piscines, le chauffage d'eau industrielle et pour le chauffage dans les foyers domestiques.

- **Le système à haute pression**: dans ce système, le circuit d'eau est généralement constitué de tubes en cuivre et de plaque métallique qui augmentent la surface d'absorption. Les ailettes sont normalement en acier, en aluminium ou en cuivre, et ayant des épaisseurs de l'ordre de 0.25 mm pour le cuivre, 0.5 pour l'aluminium et 2 mm pour l'acier, à cause des différences de conductivité thermique. L'espacement entre les tubes dépend de l'épaisseur des ailettes [20].

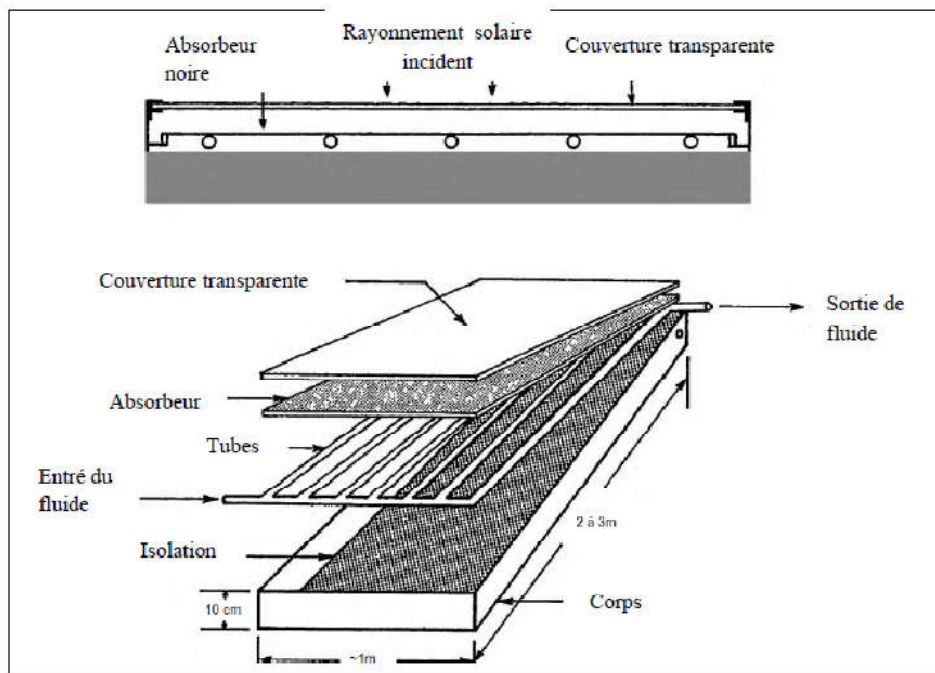


Fig.III. 6. Vue en coupe d'un capteur plan [20].

III.4.1. Le fonctionnement d'un chauffe-eau solaire:

Le fonctionnement est simple, il consiste à un transfert de l'énergie solaire absorbée par les capteurs (chaleur) vers un système de stockage (ballon). Le transfert se fait au moyen d'un liquide caloporteur. Le liquide caloporteur doit se déplacer du capteur solaire vers le ballon

(où il échange sa chaleur pour réchauffer l'eau froide contenue dans celui-ci), l'eau refroidie retournant au capteur. **Figure .III.7.** Dans son trajet capteur - réservoir – capteur, l'eau pourra circuler d'elle-même (circulation naturelle) où être entraînée par une petite pompe (circulation forcée) [14].

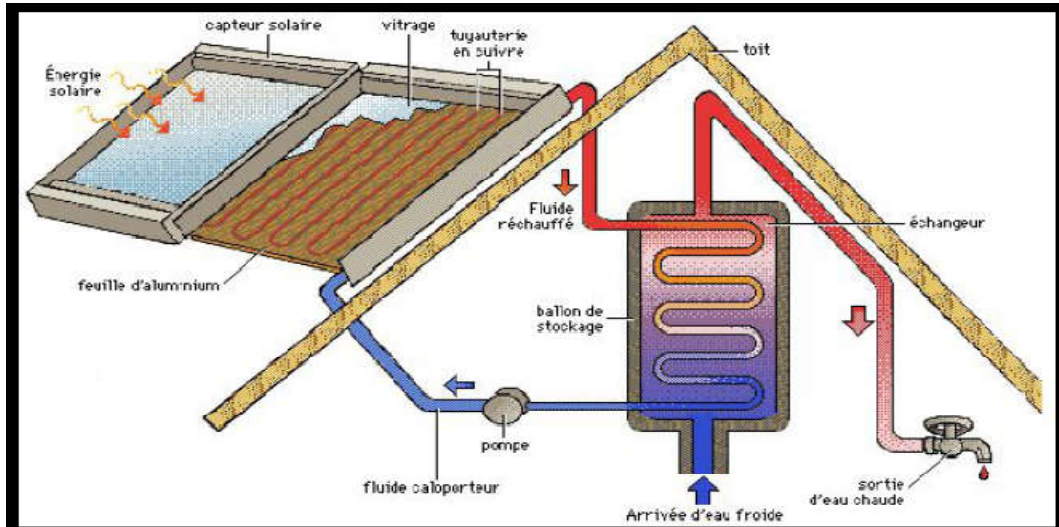


Fig.III.7. Le schéma de fonctionnement d'un chauffe-eau solaire [14].

III.5. Applications des capteurs solaires plans à air:

a- Chauffages et climatisation des habitations

Le principe est présenté sur la Figure III.8, consiste à chauffer le fluide dans le capteur solaire, l'air est véhiculé par ventilateur vers des points d'utilisations [21].

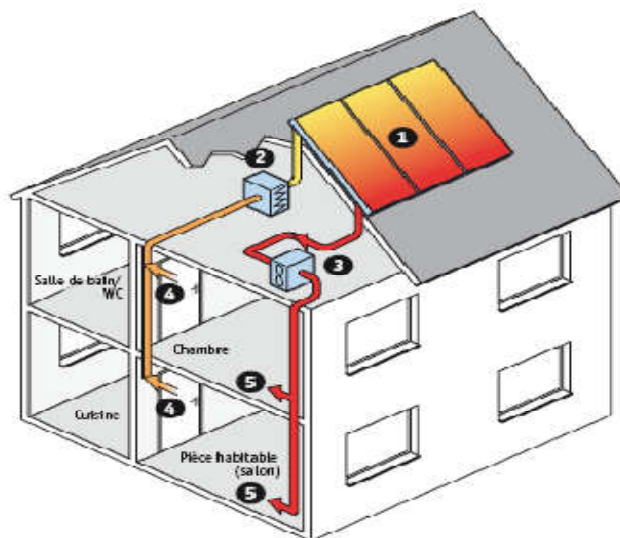


Fig.III.8.Chauffages est climatisation des habitations [21].

- 1- Capteur solaire plan à air
- 2- Filtre
- 3- Ventilateur

4- Entrées d'air

5- Sorties d'air

b-Le séchage :

Les capteurs solaires à air sont utilisés pour le séchage des récoltes du thé, du café, des fruits, des fèves, du riz, des épices, du caoutchouc, du cacao et du bois [21].

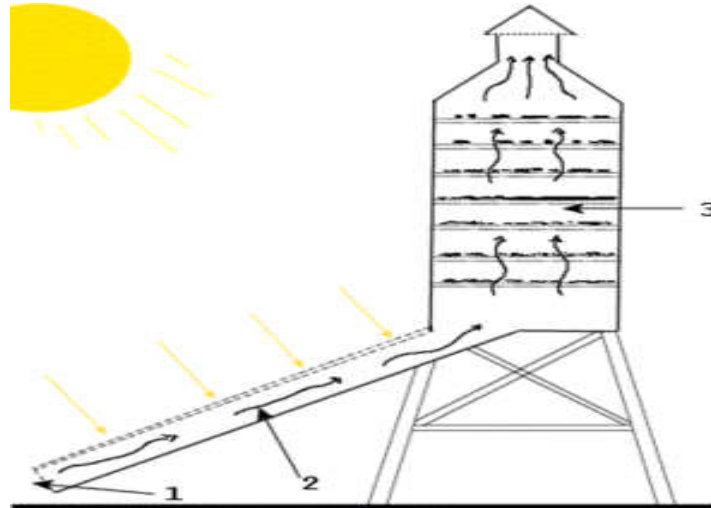


Fig.III.9.séchage solaire [22].

III. 6.Conclusion :

Les installations solaires peuvent être utilisées dans tous les climats pour produire de l'eau chaude ou l'air chaud, mais leurs performances annuelles sont proportionnelles à l'ensoleillement du lieu ou sont installés les capteurs solaires.

Chapitre IV

Etude Théorique

IV.1.Introduction :

Ce chapitre permet de comprendre le bilan thermique des échanges de chaleur qui ont lieu dans le système pour pouvoir calculer les coefficients d'échange de chaleur et de perte. Les pertes à l'arrière sont négligées dans cette étude.

IV.2.Éléments constitutants :

Généralement, un capteur solaire est composé des éléments suivants :

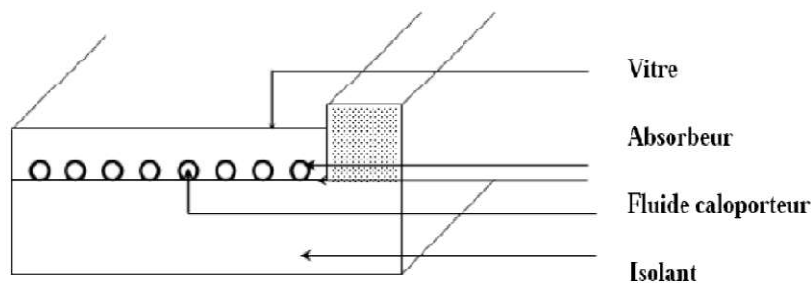


Fig. IV.1. Composants d'un capteur solaire [23].

IV.2.1. Une couverture transparente:

La couverture est la surface à travers laquelle le rayonnement solaire passe dans le capteur. Donc elle doit être transparente. Cette couverture doit assurer trois fonctions :

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

Le verre est souvent utilisé mais il a des inconvénients ; Sa fragilité, son poids et son prix élevé en double vitrage. L'inconvénient principal des matériaux plastiques est la dégradation de certaines de leurs propriétés avec le temps [24].

Matériau	Facteur de transmission solaire (%)	Masse volumique (kg/m ³)	Chaleur Massique (j/kg.k)	Conductivité Thermique (w/m.k)	Dilatation thermique (k ⁻¹)
Verre	85-92	2700	840	0.93	0.9·10 ⁻⁵
Polycarbonate	82-89	1200	1260	0.2	6.6·10 ⁻⁵
Poly méthacrylate	89-92	1200	1460	0.2	7·10 ⁻⁵
Polyester armé	77-90	1400	1050	0.21	3.5·10 ⁻⁵
Poly téréphtalate Ethylène	84	1.38	1170	0.25	7·10 ⁻⁵
Poly fluor éthylène Opoylène	97	2.15	1170	0.25	10 ⁻⁴

Polyflurure Vinyle	93	1.50	1380	0.12	$4 \cdot 10^{-5}$
-----------------------	----	------	------	------	-------------------

Tableau .IV.1. Propriétés de quelques surfaces transparentes au rayonnement solaire mais opaques au rayonnement infrarouge [24].

IV.2.2. Paroi absorbante (absorbeur) :

Il permet d'absorber l'énergie rayonnante et de la restituer au fluide caloporteur ; en tôle de métal (Aluminium, Acier et Cuivre) de faible épaisseur (< 4 mm) avec un revêtement du côté rayonnement et parfois munie d'ailettes de l'autre côté pour augmenter le transfert avec le fluide caloporteur.

IV.2.3. Isolation arrière

Elle empêche les déperditions ; elle se compose d'une couche de polystyrène (de 20 à 80 mm d'épaisseur) ou de la laine de verre ou le liège et d'une plaque en bois externe (de 5 à 20 mm d'épaisseur). Le vide étant l'isolant idéal [25].

Isolation arrière	Coef. de transmissivité w/m°C
La laine de verre	0,057
Le liège	0,42
Le polystyrène expansé	0,31
Le polyuréthane	0,026

Tableau .IV.2. L'isolation [25].

IV.2.4. Fluide caloporteur:

On utilise habituellement soit l'eau soit l'air. L'air se distingue par les avantages suivants :

- Pas de problème de gel l'hiver ou d'ébullition l'été.
- Avec l'air sec, il n'y pas de problèmes de corrosion.

Mais son utilisation entraîne les inconvénients suivants :

- L'air ne peut servir qu'au chauffage des locaux.
- Le produit de la masse volumique par la chaleur spécifique est faible pour l'air Comparativement à celui dans le cas de l'eau.
- Les conduites doivent avoir une forte section pour laisser passer un débit suffisant compte tenu de la remarque précédente.
- Les transferts thermiques sont moins bons qu'avec l'eau. Dans le cas de tuyauteries soudées sur la face arrière de la plaque absorbante, il faut prendre soin aux soudures afin de réduire le plus possible la résistance thermique de contact [26].

IV.2.5. Le coffre:

Fabriqué couramment en aluminium ou en bois, enferme l'absorbeur et l'isolation thermique du capteur, les protégeant ainsi contre l'humidité et les détériorations mécaniques [27].

IV.3. Bilan thermique d'un capteur solaire :

Le bilan thermique d'un capteur plan s'obtient simplement en écrivant que l'énergie absorbée pendant l'intervalle de temps dt , soit $q_n dt$ se répartit en :

- $q_u dt$ énergie transmise au fluide caloporteur par le capteur.
- $q_p dt$ énergie perdue par le capteur dans l'environnement.
- dq l'accroissement de l'énergie emmagasinée dans le capteur [3].

$$q_n = q_u + q_p + \frac{dq}{dt} \quad (\text{IV.1})$$

Considérons que le système est stable (régime permanent), (IV.1) devient :

$$q_n = q_u + q_p \quad [3] \quad (\text{IV.2})$$

$$q_{ab} = G \cdot \tau \cdot \alpha \quad [3] \quad (\text{IV.3})$$

$$q_u = h_c (T_{ab} - T_f) \quad [3] \quad (\text{IV.4})$$

$$q_{pav} = U_L (T_s - T_a) \quad [3] \quad (\text{IV.5})$$

IV.3.1. La quantité de chaleur perdue

En supposant que le transfert de chaleur est unidirectionnel, les pertes par les parois latérales du capteur sont négligeables, on écrit alors :

$$q_p = q_{pav} + q_{par} \quad (\text{IV.6})$$

q_{pav} : Les pertes vers l'avant

q_{par} : Les pertes vers l'arrière

Les pertes sont à évaluer à travers le coefficient de perte arrière qui s'écrit :

$$U_{Lar} = \frac{k_{is}}{e_{is}}$$

Où k_{is} est la conductivité thermique de l'isolant et e_{is} son épaisseur.

Du fait que l'absorbeur est généralement bien isolé, on néglige les pertes vers l'arrière devant les pertes vers l'avant. L'équation (IV.6) devient :

$$q_p = q_{pav} \Rightarrow U_L = U_{Lav} \quad (IV.7)$$

IV.3.2. Le coefficient globale de pertes

Les coefficients de transfert convectif au dessus de la vitre dû au vent et entre la vitre et l'absorbeur sont donnés respectivement :

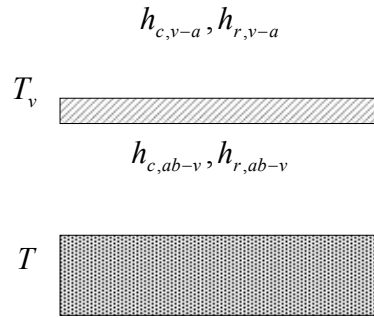


Fig .IV.2. Représentation schématique des coefficients d'échange [3].

Où:

$$h_{c,v-a} = 5.67 + 3.86V[3] \text{ en } [W/m^2\text{o}K] \quad (IV.8)$$

Où

V est la vitesse du vent [m/s]

$$h_{c,ab-v} = 1.42 \left[\frac{(T-T_a) \sin i}{\Delta} \right]^{1/4} [3] \quad (IV.9)$$

Le coefficient de transfert radiatif entre deux plaques parallèles est donné par la relation suivante :

$$h_r = \frac{\sigma(T_1+T_2)(T_1^2+T_2^2)}{\frac{1-\varepsilon_1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{F_{12}} + \frac{1-\varepsilon_2}{\varepsilon_2} \frac{S_1}{S_2}} [3] \quad (IV.10)$$

On considère généralement que $F_{12} = 1$ entre les diverses parties du capteur et $\frac{S_1}{S_2} = 0$ entre la face supérieure du capteur et le ciel. Les coefficients de transfert radiatif entre la vitre et le ciel et entre l'absorbeur et la vitre sont donnés respectivement :

$$h_{r,v-c} = \sigma \varepsilon_v (T_v + T_c)(T_v^2 + T_c^2) [3] \quad (IV.11)$$

$$h_{r,ab-v} = \sigma \varepsilon_{ab-v} (T + T_v)(T^2 + T_v^2) [3], \text{ tel que } \varepsilon_{ab-v} = \left(\frac{1}{\varepsilon_{ab}} + \frac{1}{\varepsilon_v} - 1 \right)^{-1} [3] \quad (IV.12)$$

On a :

$$h_{r,v-a} (T_v - T_a) = h_{r,v-c} (T_v - T_c) \quad [3] \quad (IV.13)$$

Alors :

$$h_{r,v-a} = h_{r,v-c} \frac{(T_v - T_c)}{(T_v - T_a)} = \sigma \varepsilon_v \frac{(T_v^4 - T_c^4)}{(T_v - T_a)} \quad [3], \text{ tel que } T_c = 0,0552 T_a^{1,5} \quad (IV.14)$$

T_c est la température du ciel.

IV.3.3.L'analogie électrique

En utilisant l'analogie électrique représentée dans la Figure (IV.3) pour déterminer l'expression du coefficient de pertes global en fonction des coefficients d'échange convectifs et radiatifs, tel que :

$$R_{c,v-a} = 1/h_{c,v-a}$$

$$R_{r,v-a} = 1/h_{r,v-a}$$

$$R_{c,ab-v} = 1/h_{c,ab-v}$$

$$R_{r,ab-v} = 1/h_{r,ab-v}$$

$$\frac{1}{R_{eq,v-a}} = \frac{1}{R_{c,v-a}} + \frac{1}{R_{r,v-a}} = h_{c,v-a} + h_{r,v-a}$$

$$\frac{1}{R_{eq,ab-v}} = \frac{1}{R_{c,ab-v}} + \frac{1}{R_{r,ab-v}} = h_{c,ab-v} + h_{r,ab-v}$$

$$R_{eq,ab-a} = R_{eq,v-a} + R_{eq,ab-v} = \frac{1}{h_{c,v-a} + h_{r,v-a}} + \frac{1}{h_{c,ab-v} + h_{r,ab-v}}$$

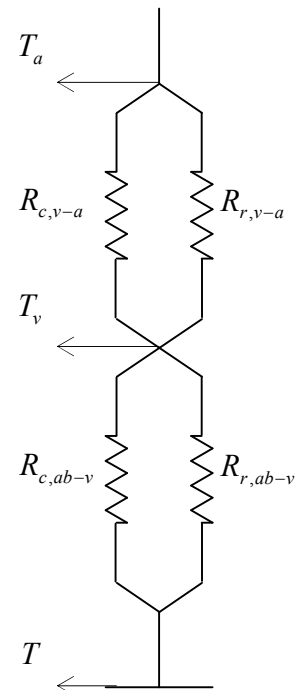


Fig. IV.3. Analogie électrique [3].

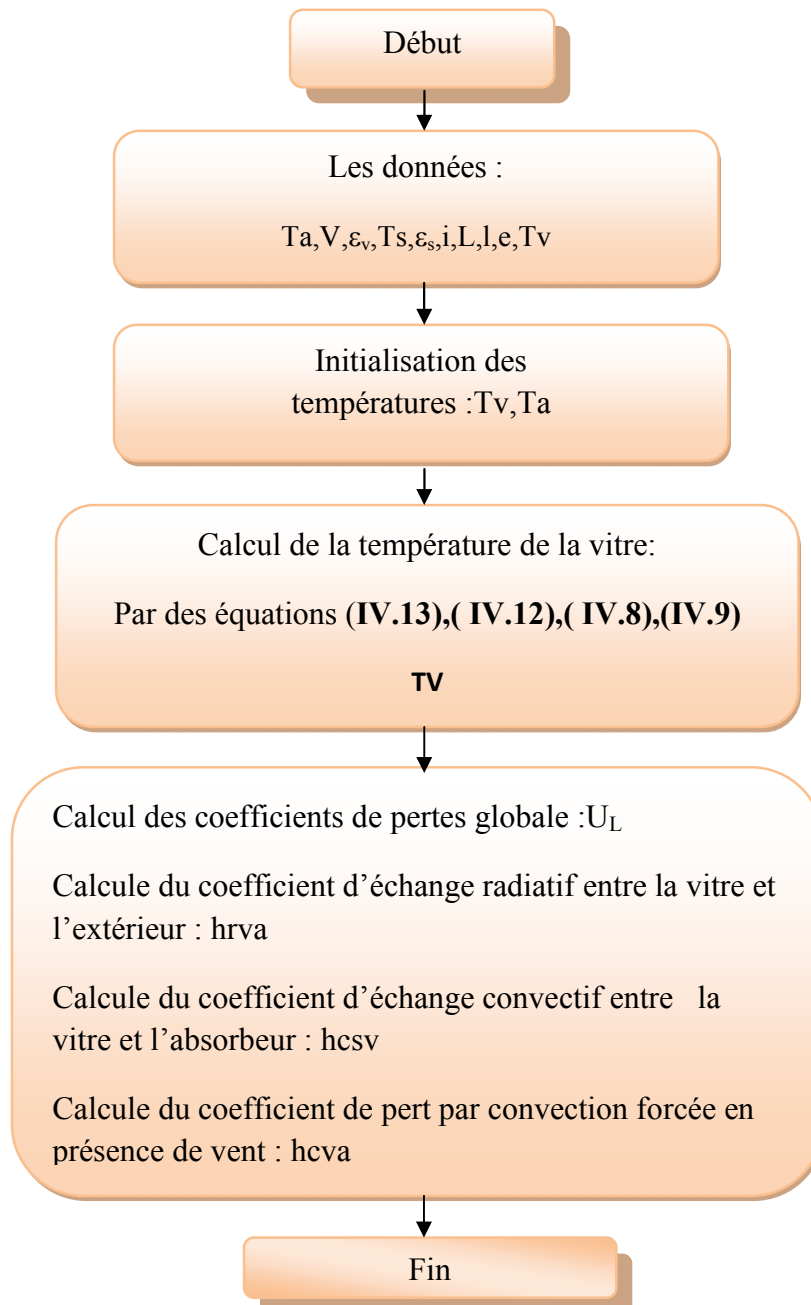
L'expression du coefficient de pertes global est donc :

$$\frac{1}{R_{eq,ab-a}} = U_L = \left(\frac{1}{h_{c,v-a} + h_{r,v-a}} + \frac{1}{h_{c,ab-v} + h_{r,ab-v}} \right)^{-1} \quad (IV.15)$$

Pour calculer le coefficient de pertes global U_L il faut donc procéder par itération. Connaissant la température de l'absorbeur, on estime la température de la vitre T_v , on déduit U_L puis les pertes. Avec une autre expression des pertes on peut obtenir une nouvelle valeur de T_v d'où on tire un nouveau coefficient de pertes, et ainsi de suite jusqu'à ce que les valeurs de T_v issues de deux itérations successives soit suffisamment voisines [3].

IV.4. Organigramme de simulation :

L'élaboration d'un programme en Matlab a permis la simulation des différents coefficients des pertes thermiques en fonction de la température ambiante. L'organigramme ci-après est suivi :



IV.5. Conclusion

Dans ce chapitre on a montré les différents constituants du capteur solaire le plus simple. On a décrit les différents coefficients de transfert de chaleur dans les différents composants susceptibles d'échanger de la chaleur pour pouvoir les évaluer. Il existe d'autres façons pour établir le bilan énergétique. Ceci dépend de sa conception.

Chapitre V

Résultats et interprétation

V.1.Introduction :

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

V.2.Variation des pertes thermiques en fonction des paramètres d'environnement

V.2.1.Influence de la température ambiante :

Les courbes qui suivent représentent la variation des pertes thermiques sur la face avant du capteur solaire en fonction de la température du milieu environnement au système.

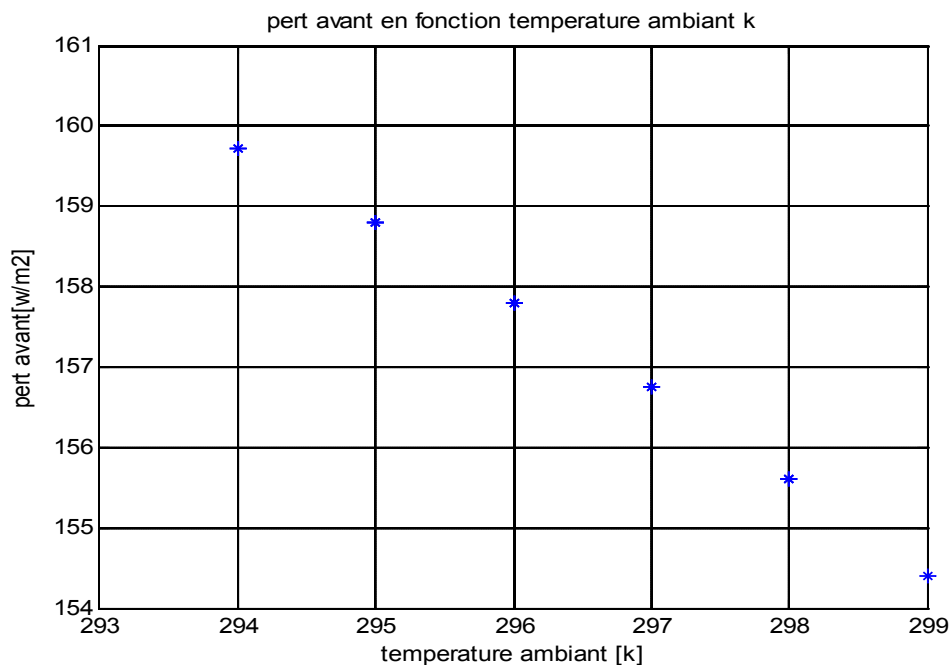


Fig.V.1. Variation des pertes avant en fonction température ambiante

Ces courbes montrent que les pertes thermiques du capteur solaire diminuent lorsque la température ambiante augmente. Ceci s'explique par le fait que plus la température de l'environnement augmente et s'approche de celle du système, plus la différence de températures diminue et les pertes thermiques diminuent aussi.

Les courbes qui suivent montrent la variation des différents coefficients de pertes thermiques en fonction de la température ambiante.

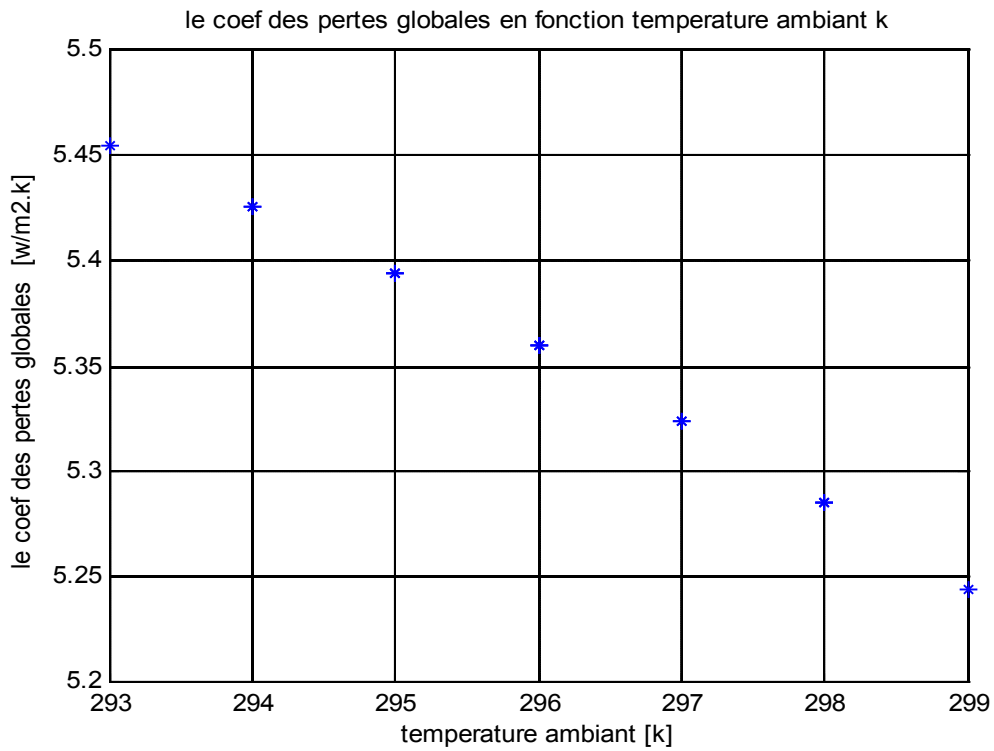


Fig. V.2 Variation du coefficient des pertes globales Hav

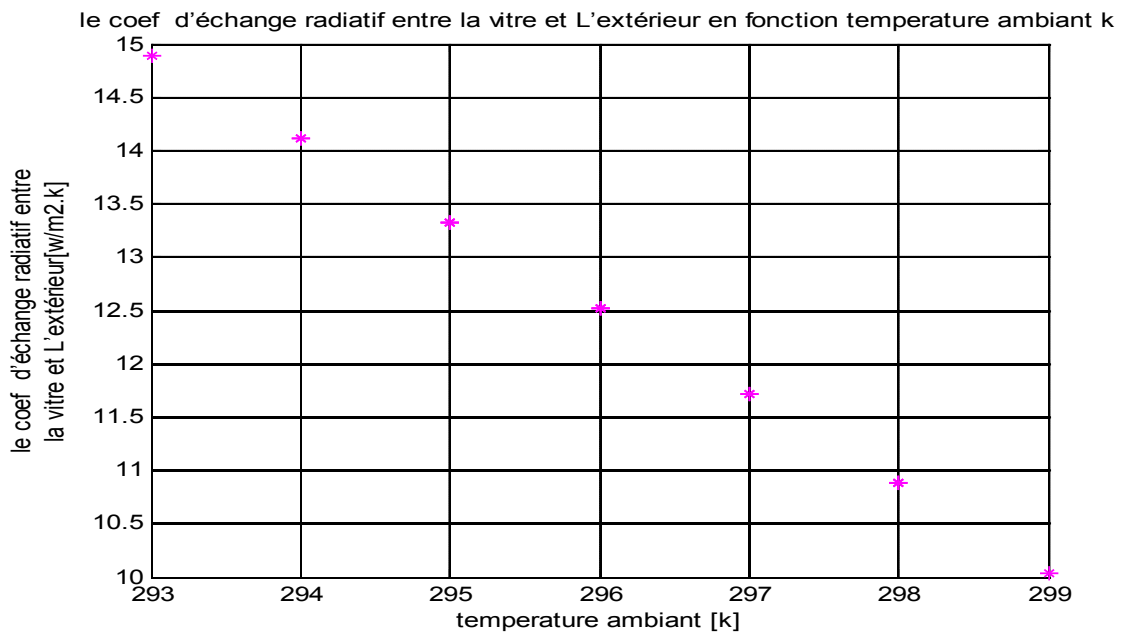


Fig. V.3. Variation du coefficient d'échange radiatif vitre - extérieur

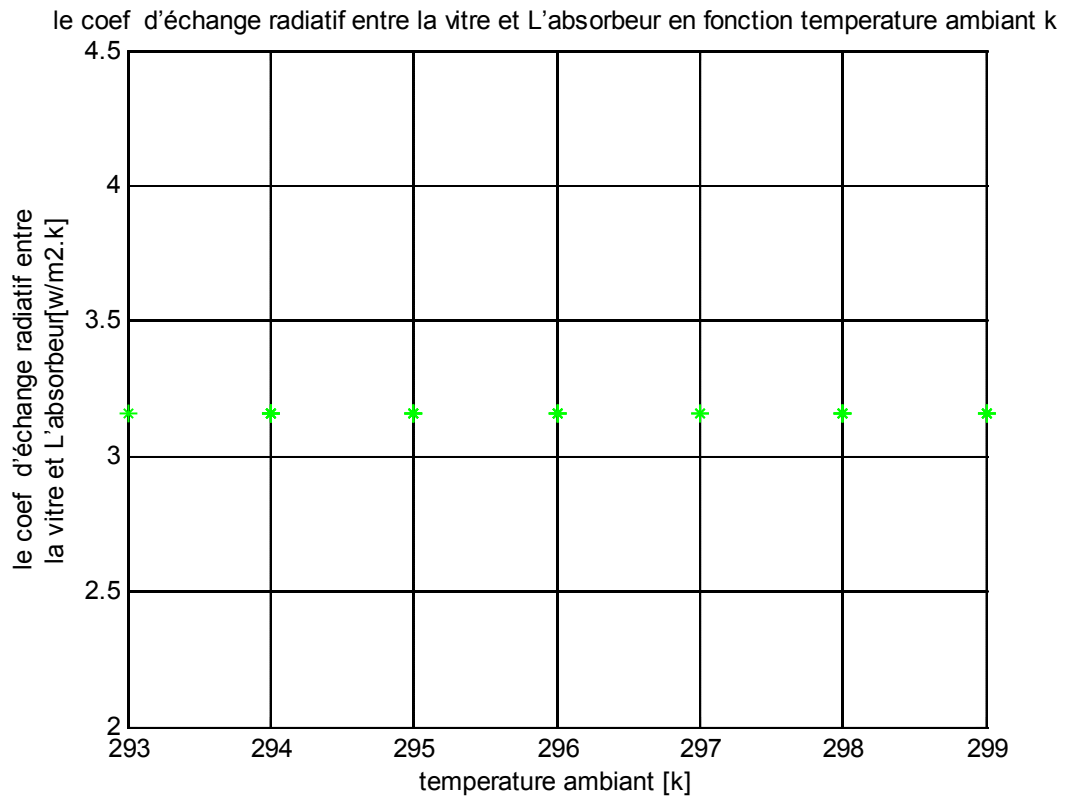


Fig. V.4. Variation du coefficient d'échange radiatif vitre -l'absorbeur

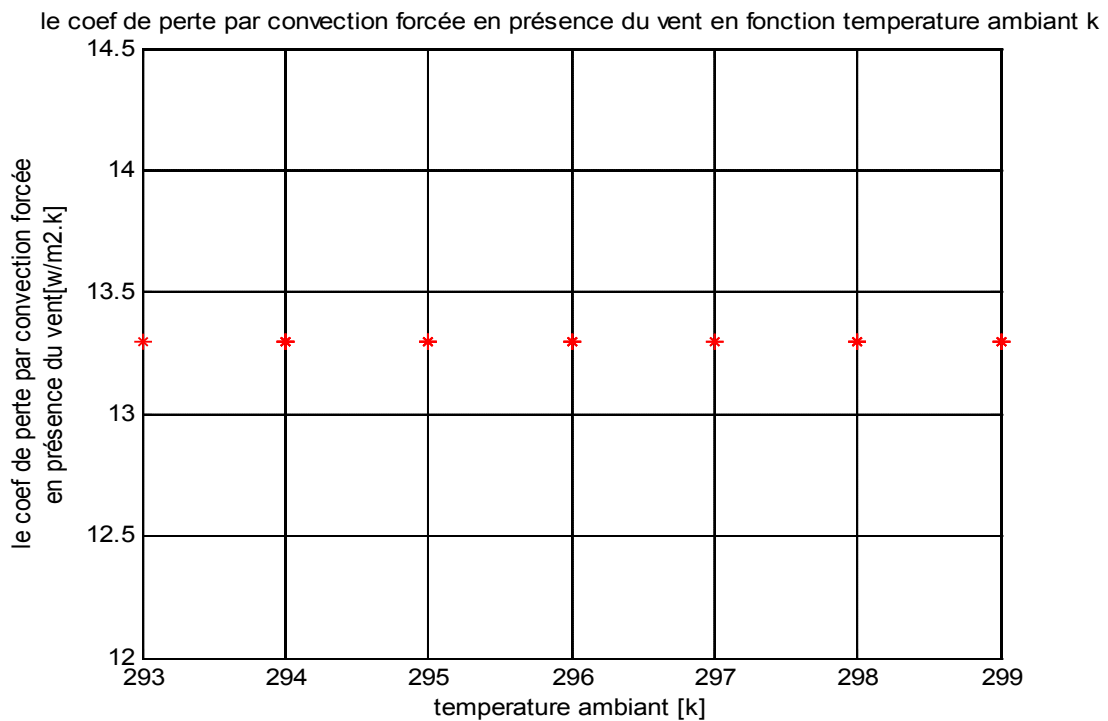


Fig. V.5. Variation du coefficient d'échange convectif vitre-extérieur

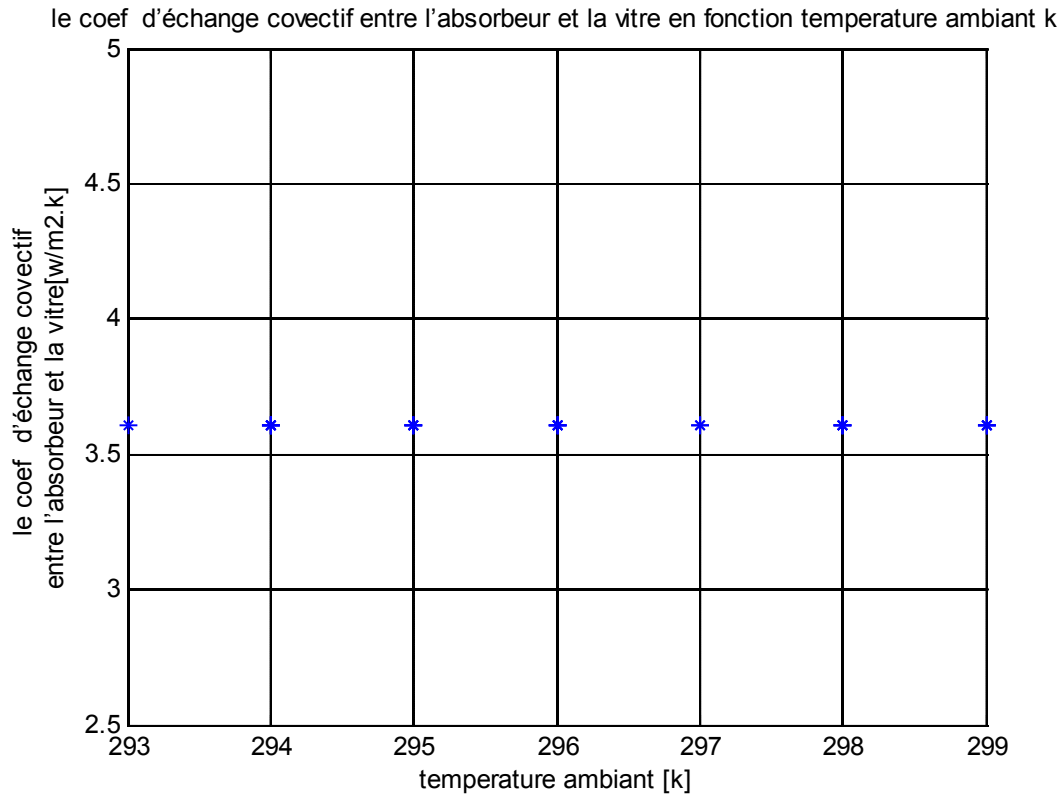


Fig. V.6. Variation du coefficient d'échange convectif absorbeur- vitre

V.2.2.Influence de la vitesse du vent :

Les courbes qui suivent représentent la variation des pertes thermiques sur la face avant du capteur solaire en fonction de la longueur du capteur pour différentes vitesses du vent du milieu environnement au système.

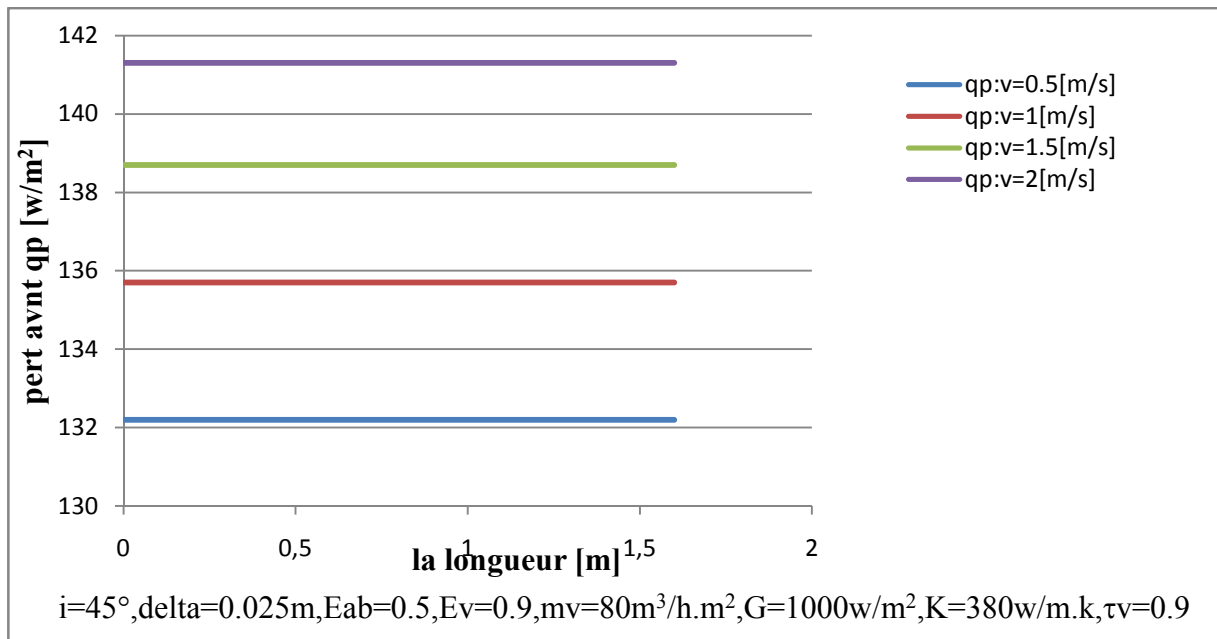


Fig.V.7.Variation des pertes avant

Il est à remarquer à travers l'examen de ces courbes que les pertes thermiques sur la face avant du capteur solaire augmentent avec la vitesse du vent.

Les figures qui suivent représentent la variation des différents coefficients de pertes thermiques sur la face avant du capteur solaire en fonction de la longueur du capteur pour différentes vitesses du vent du milieu environnement au système.

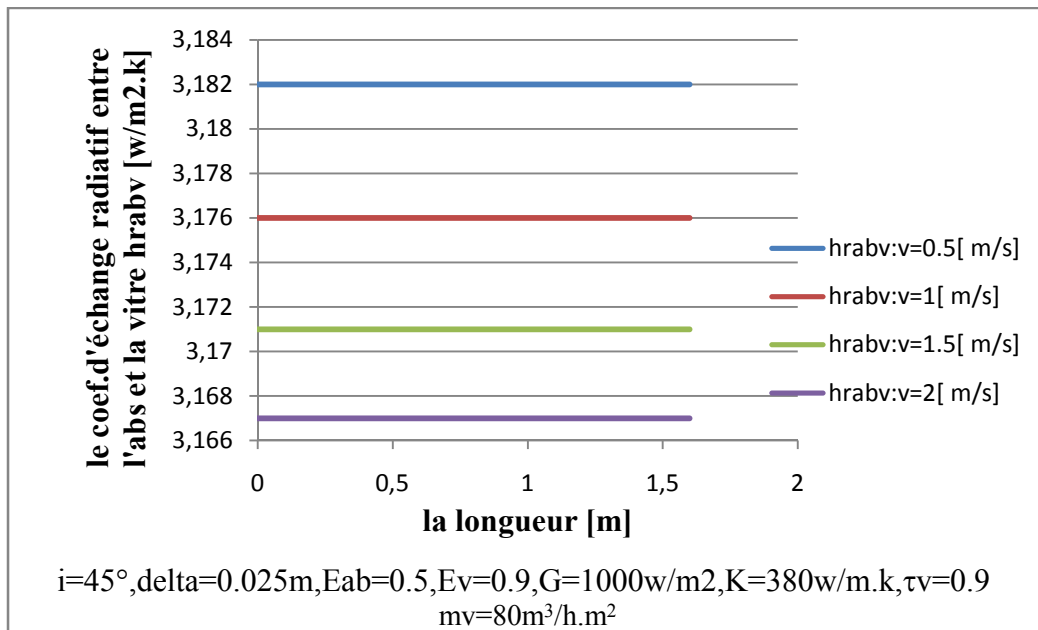


Fig.V.8. Variation du coefficient d'échange radiatif h_{rabv} absorbeur - vitre

On remarque que, quand la vitesse de vent augment, le coefficient d'échange radiatif entre l'absorbeur et la vitre diminue.

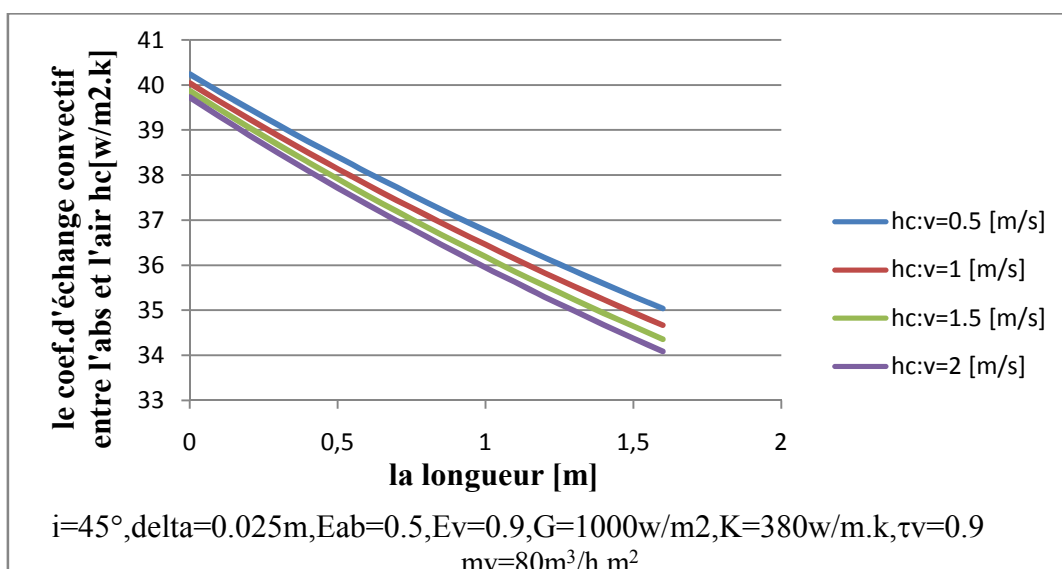


Fig. V.9. Variation du coefficient d'échange convectif absorbeur-air

On remarque que l'augmentation de vitesse de vent cause de la diminution du coefficient d'échange convectif absorbeur-air.

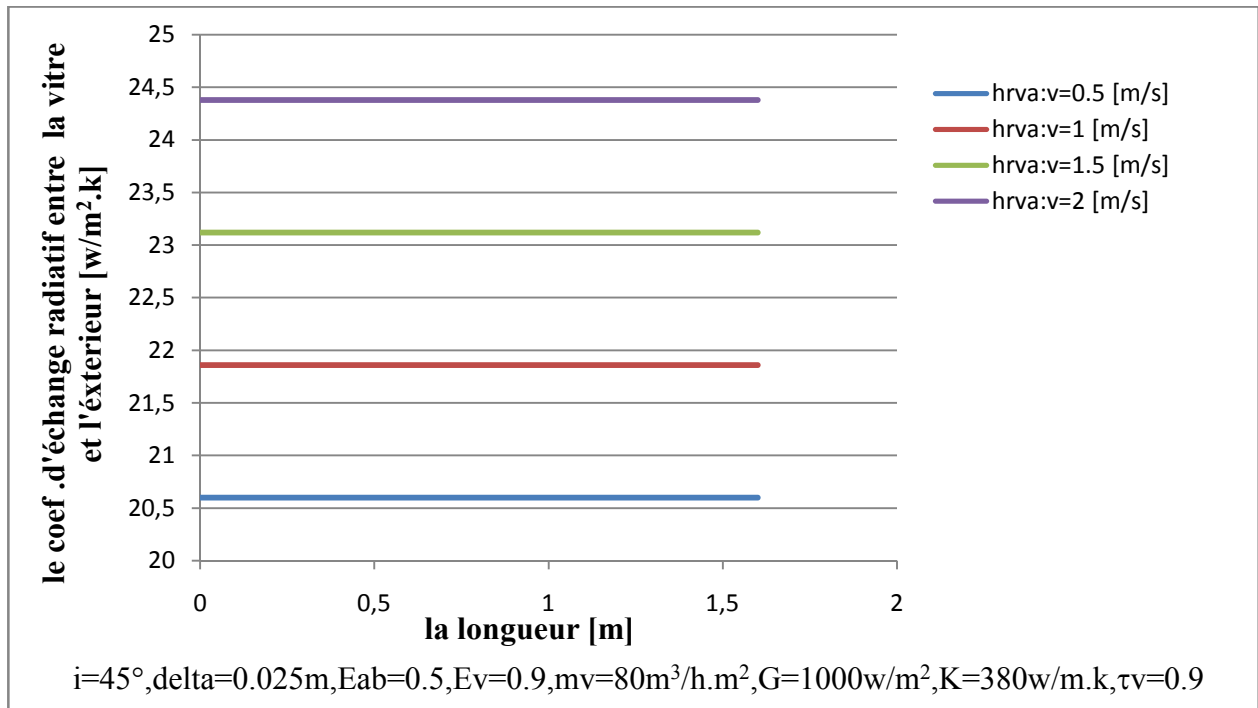


Fig. V.10. Variation de coefficient d'échange radiatif hrva vitre-extérieur

Il est à remarquer à travers l'examen de ce courbe que la vitesse augmente alors le coefficient d'échange radiatif hrva vitre-extérieur augment.

V.2.3. Influence du rayonnement incident:

Les courbes qui suivent représentent la variation des pertes thermiques sur la face avant du capteur solaire en fonction de l'intensité du rayonnement solaire incident sur la surface du capteur.

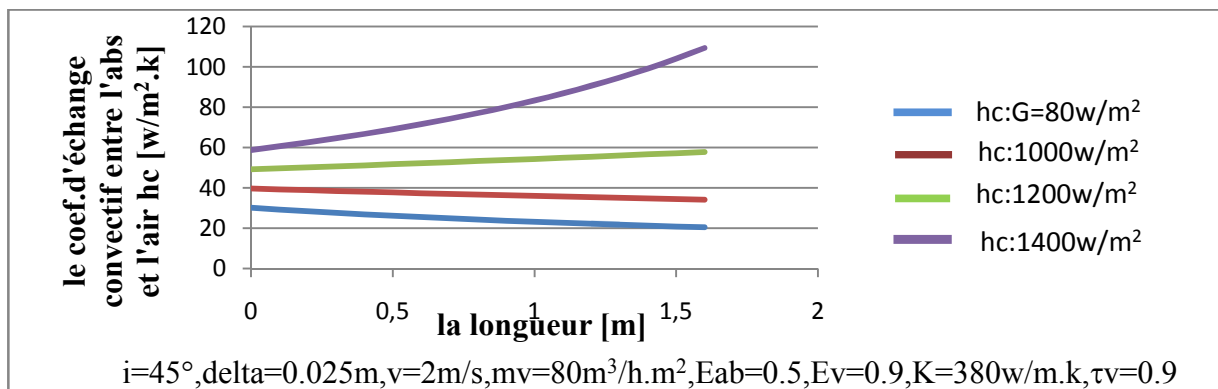


Fig. V.11. Variation du coefficient d'échange convectif entre l'abs et l'air

On remarque que l'augmentation de l'intensité du rayonnement solaire incident sur la surface du capteur correspond l'augmentation de du coefficient d'échange convectif entre l'abs et l'air.

V.3.Variation des pertes thermiques en fonction des paramètres de conception

V.3.1.Influence de l'inclinaison du système par rapport à l'horizontale :

Les courbes qui suivent représentent la variation des pertes thermiques sur la face avant du capteur solaire en fonction de l'inclinaison du système par rapport au plan orizontal.

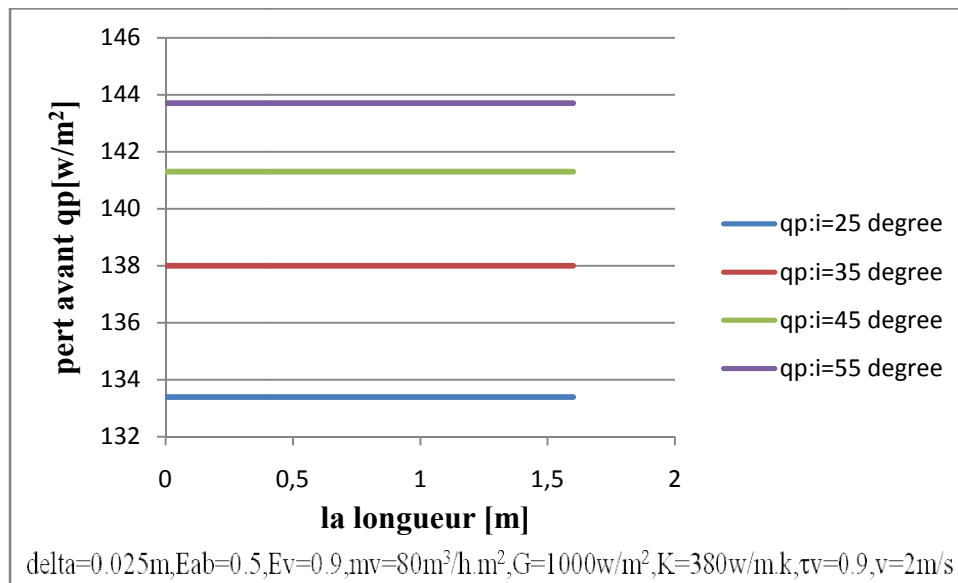


Fig. V.12. Variation des pertes avant pour divers inclinaisons du capteur solaire

On remarque que quand l'angle d'inclinaison du capteur augmente les pertes avant pour divers inclinaisons du capteur augmentent aussi.

Ces courbes montrent que plus l'inclinaison du capteur est faible plus les pertes thermiques sont faibles.

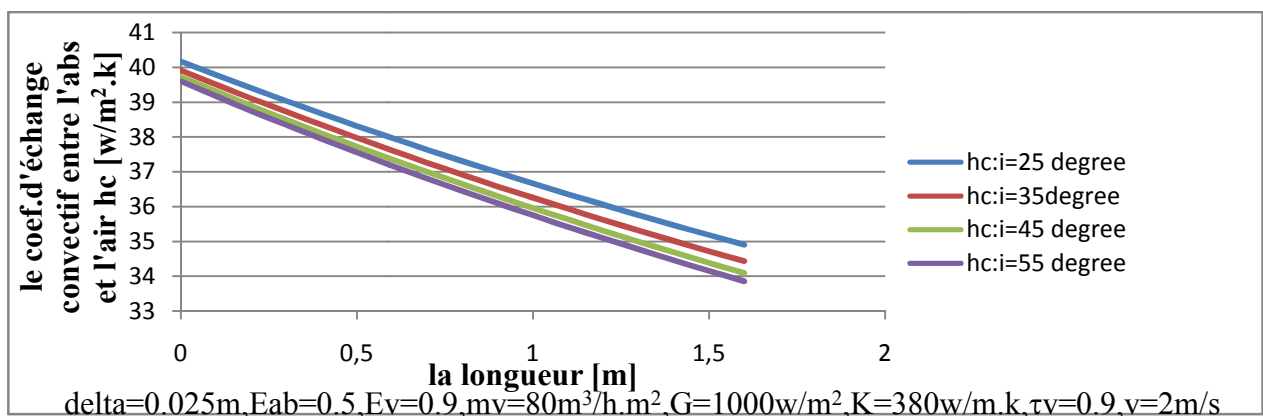


Fig. V.13. Variation du coefficient d'échange convectif abs- l'air

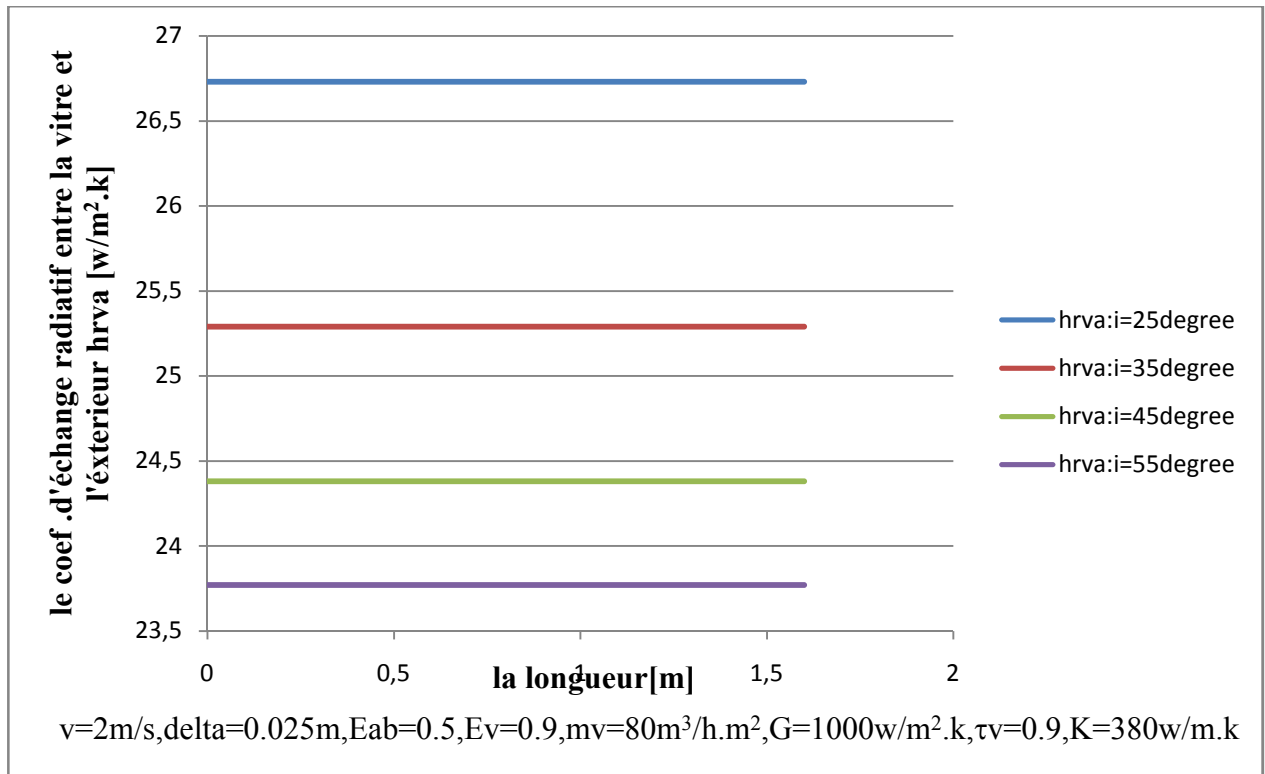


Fig. V.14. Variation de coefficient d'échange radiatif hrva vitre-extérieur

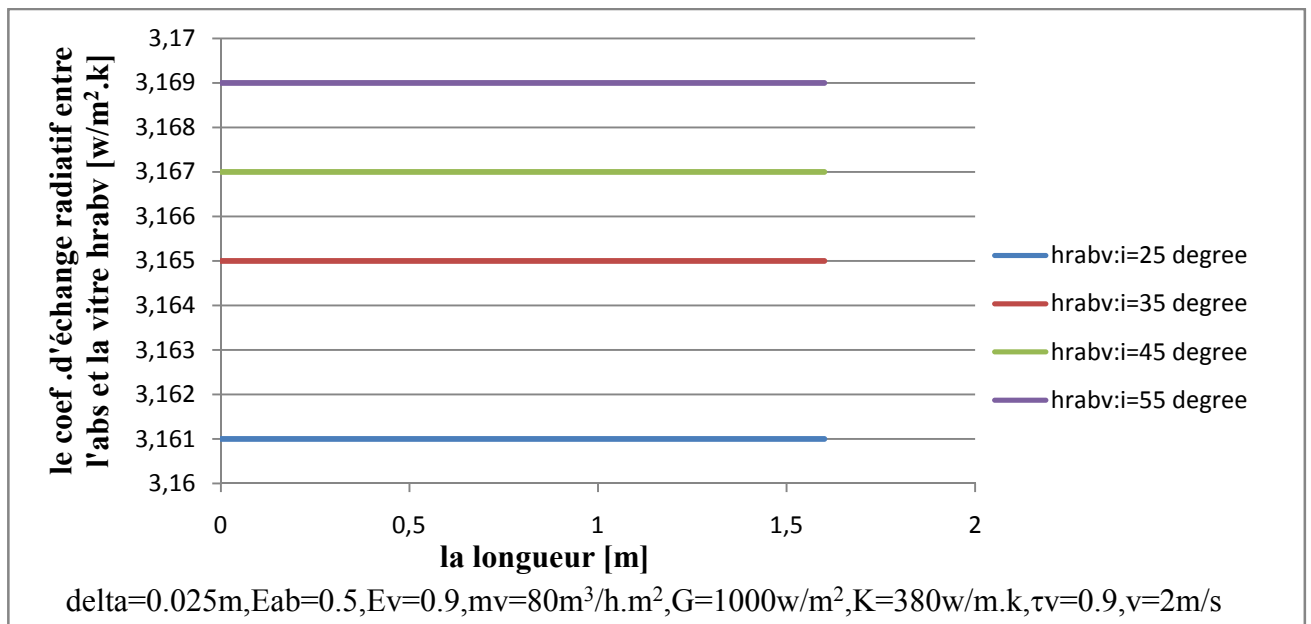


Fig. V.15. Variation de coefficient d'échange radiatif hrabv absorbeur-vitre

V.3.2. Influence du débit d'écoulement du fluide caloporteur:

Les courbes qui suivent représentent la variation des pertes thermiques sur la face avant du capteur solaire en fonction du débit volumique.

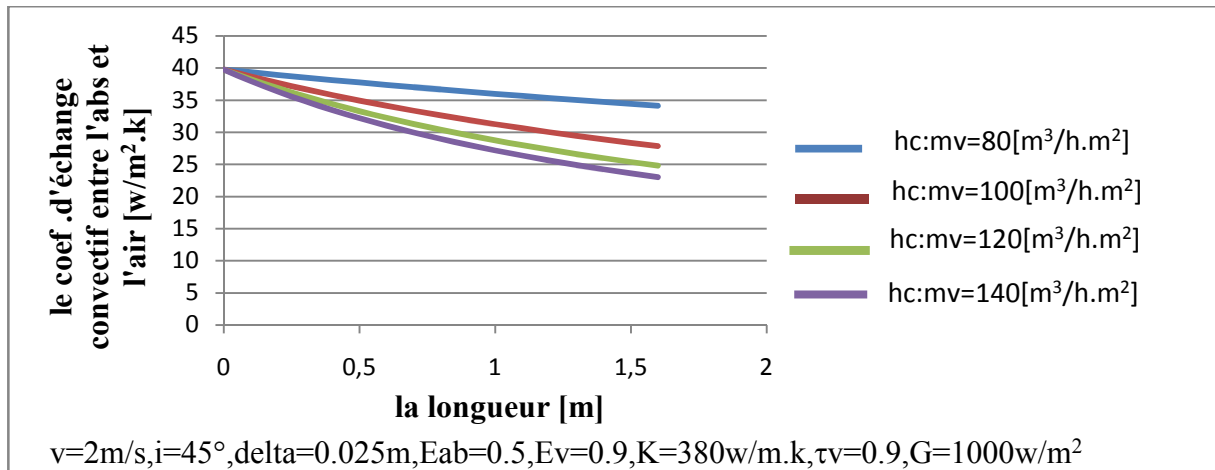


Fig. V.16. Variation du coefficient d'échange convectif abs-air pour différent débits

On remarque que quand le débit augmente alors le coefficient d'échange convectif abs-air est plus faible.

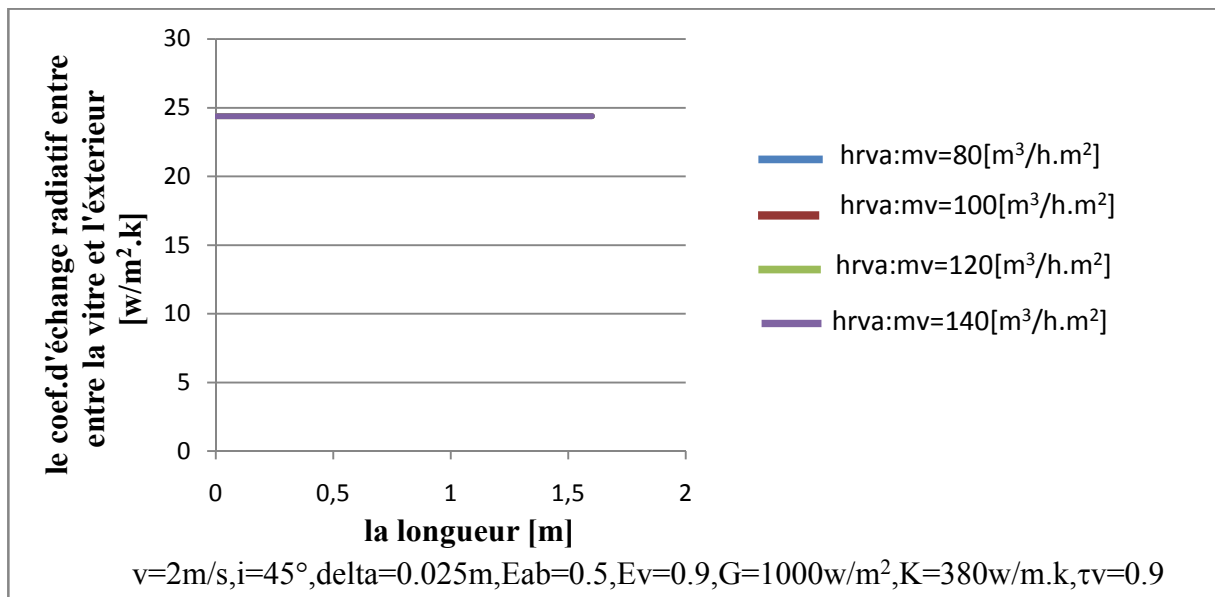


Fig. V.17. Variation du coefficient d'échange radiatif hrva vitre-extérieur

- Le débit n'affecte pas le coefficient d'échange radiatif hrva vitre-extérieur.

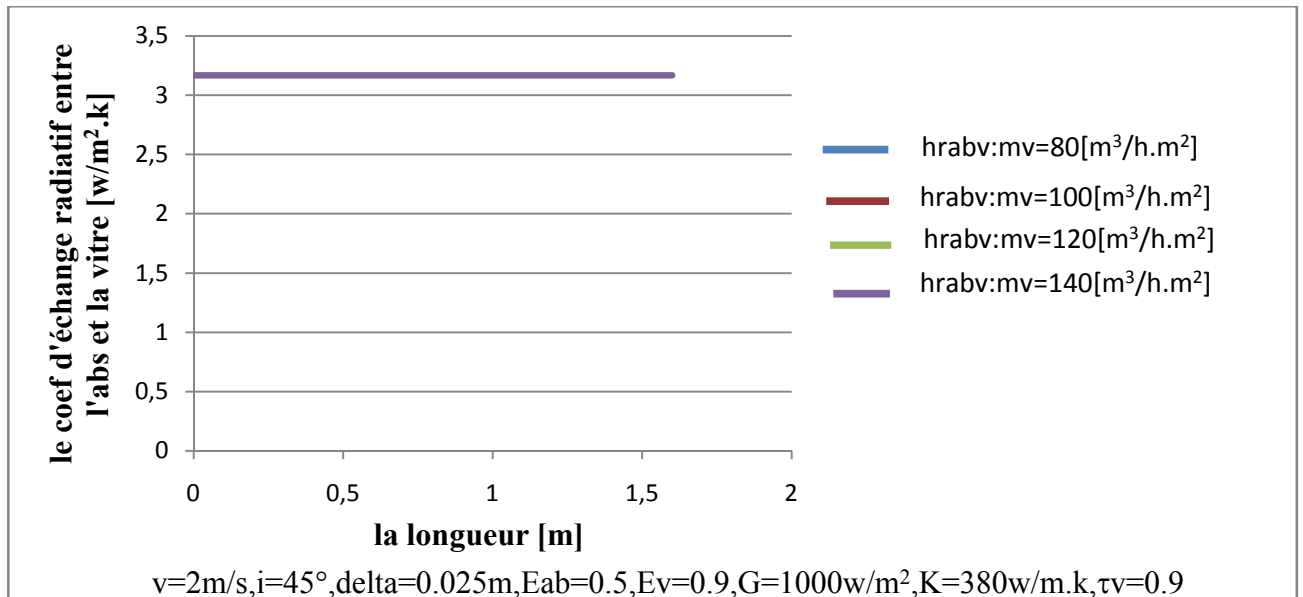


Fig. V.18. Variation du coefficient d'échange radiatif h_{rabv} absorbeur-vitre

Le débit n'affecte pas le coefficient d'échange radiatif h_{rabv} absorbeur-vitre

V.3.3. Influence de la hauteur de la veine d'air passive (air-absorbeur):

Les courbes qui suivent représentent la variation des pertes thermiques sur la face avant du capteur solaire en fonction de la hauteur de la veine d'air passive (air-absorbeur):

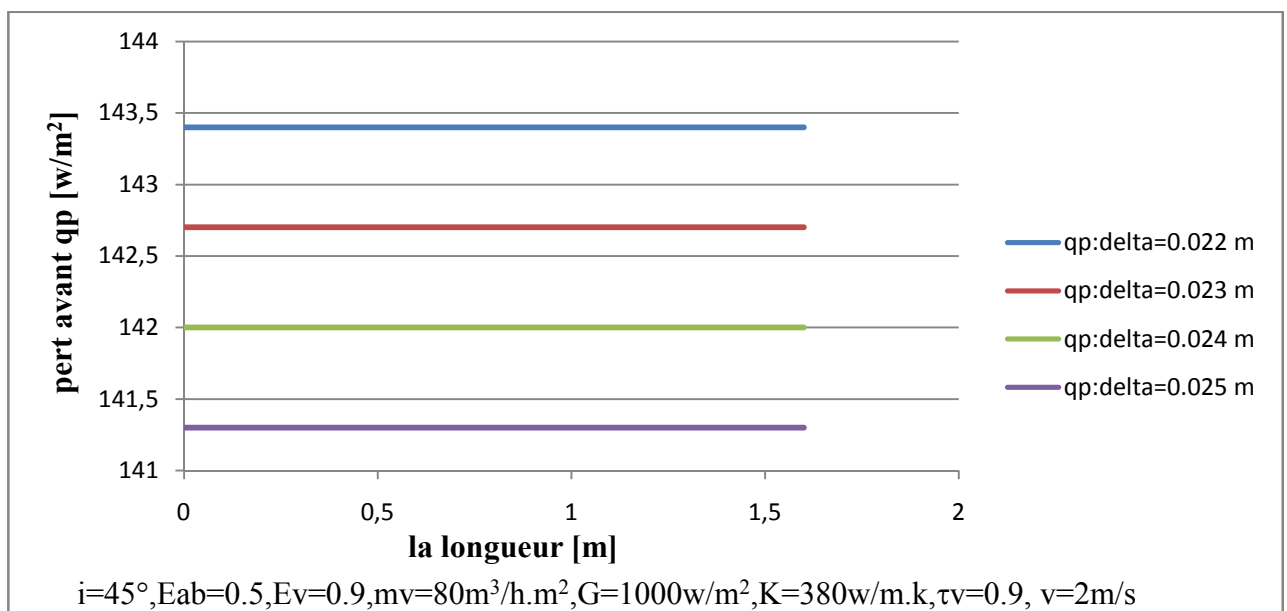


Fig. V.19 .Variation des pertes avant pour divers espaces absorbeur-Vitre

On remarque que l'augmentation de la hauteur de la veine d'air passive (air-absorbeur) permet la diminution des pertes avant.

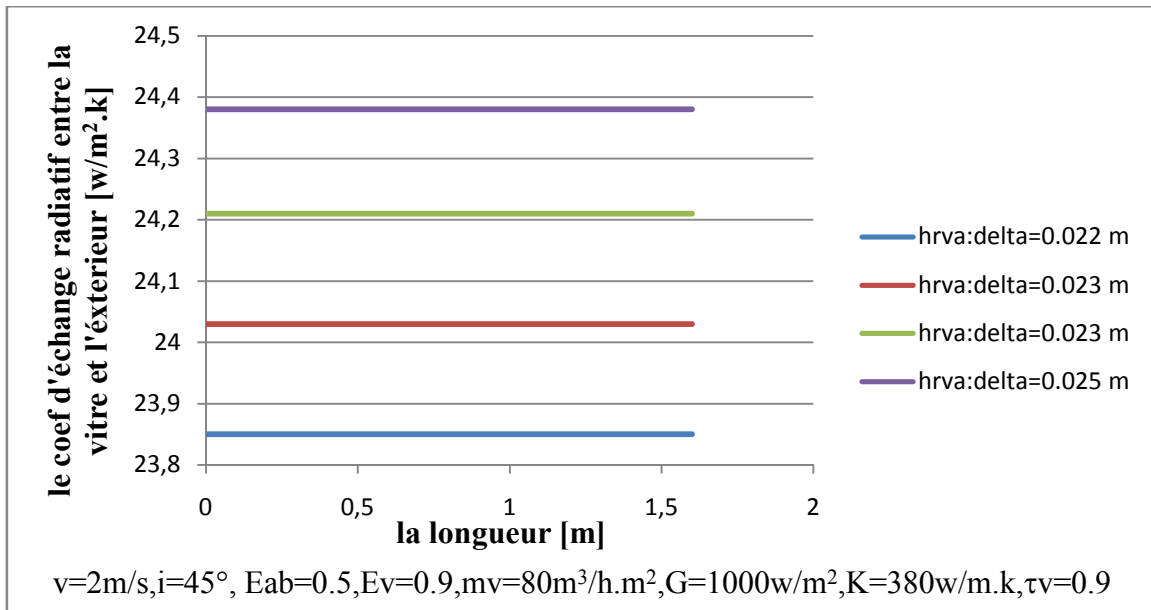


Fig. V.20. Variation du coefficient d'échange radiatif hrva vitre-extérieur

Quand la hauteur de la veine d'air passive (air-absorbeur) diminue cela corespond à la diminution du coefficient d'échange radiatif hrva vitre-extérieur.

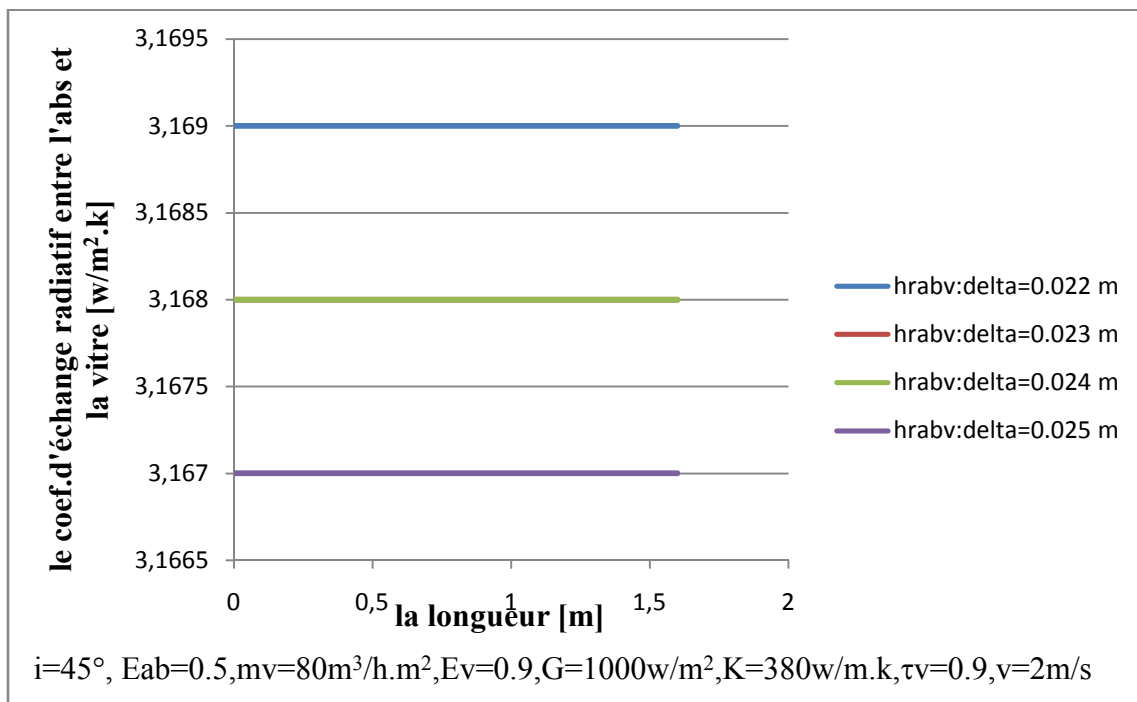


Fig. V.21. Variation du coefficient d'échange radiatif hrabv vitre-absorbeur

Quand la hauteur de la veine d'air passive (air-absorbeur) augmente cela corespond à la diminution du coefficient d'échange radiatif hrabv vitre-absorbeur.

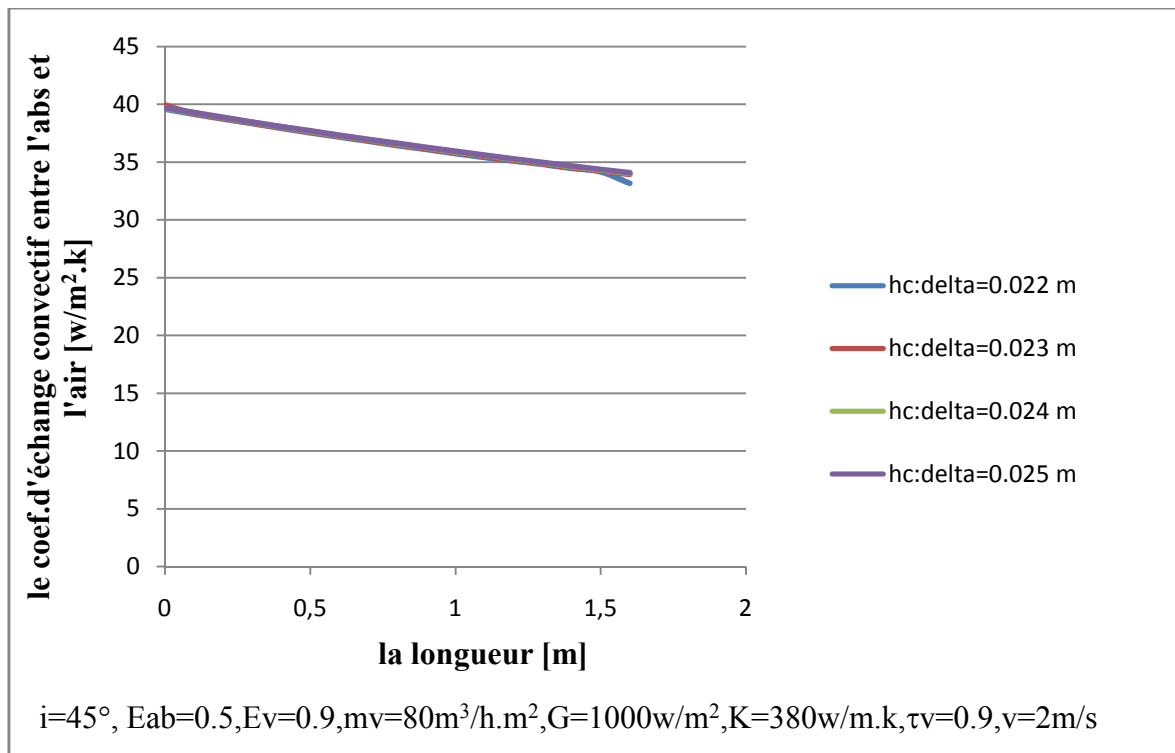


Fig. V.22. Variation du coefficient d'échange convectif abs-air

On remarque qu'il n'y a aucune influence de la hauteur par rapport au coefficient d'échange convectif abs-air.

V.3.4. Influence de l'émissivité de l'absorbeur:

Les courbes qui suivent représentent la variation des pertes thermiques sur la face avant du capteur solaire en fonction de l'émissivité de l'absorbeur.

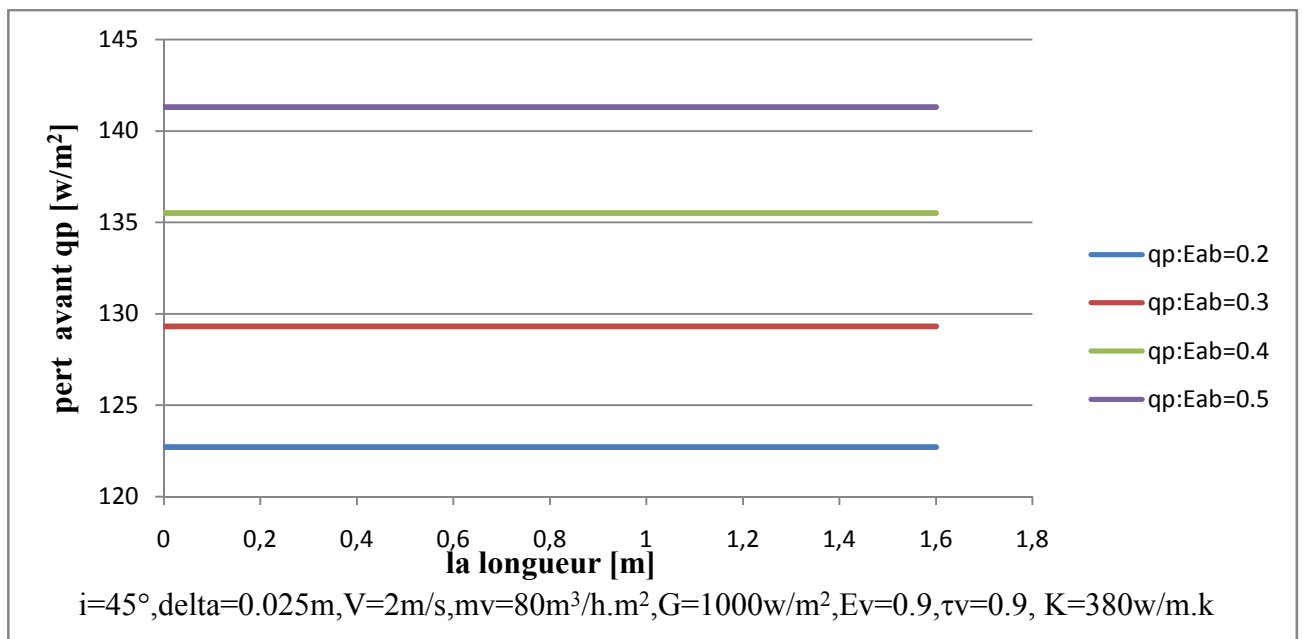


Fig. V.23. Variation des pertes avant pour différentes émissivités de l'absorbeur

On remarque que la diminution de l'emmissivité de l'absorbeur donne des pertes avant faibles.

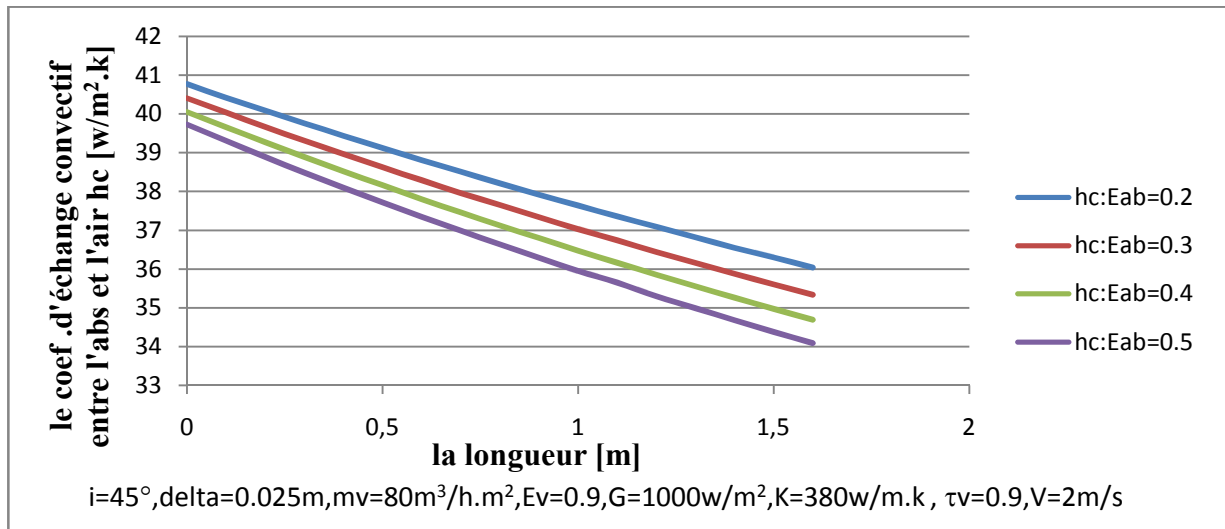


Fig. V.24. Variation du coefficient d'échange convectif abs-air

On remarque que l'augmentation de l'emmissivité de l'absorbeur coresspondant à la diminution du coefficient d'échange convectif abs-air.

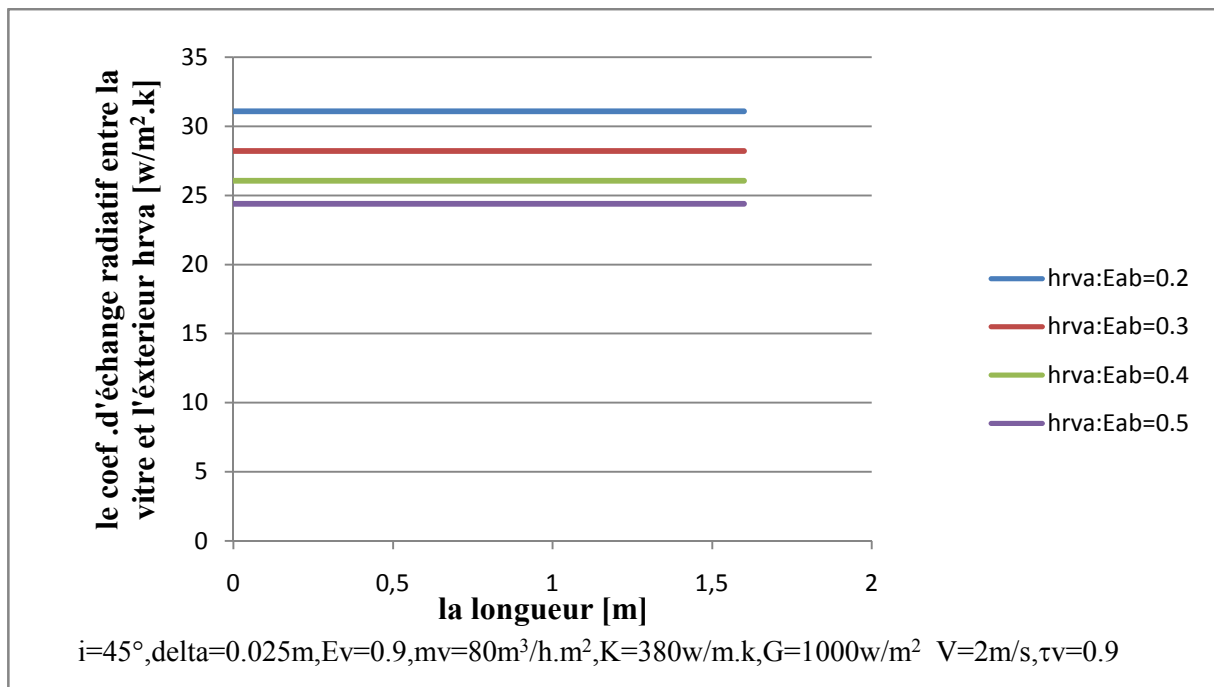


Fig. V.25. Variation du coefficient d'échange radiatif vitre-extérieur

On remarque que l'augmentation de l'emmissivité de l'absorbeur coresspondant à la diminution du coefficient d'échange radiatif vitre-extérieur.

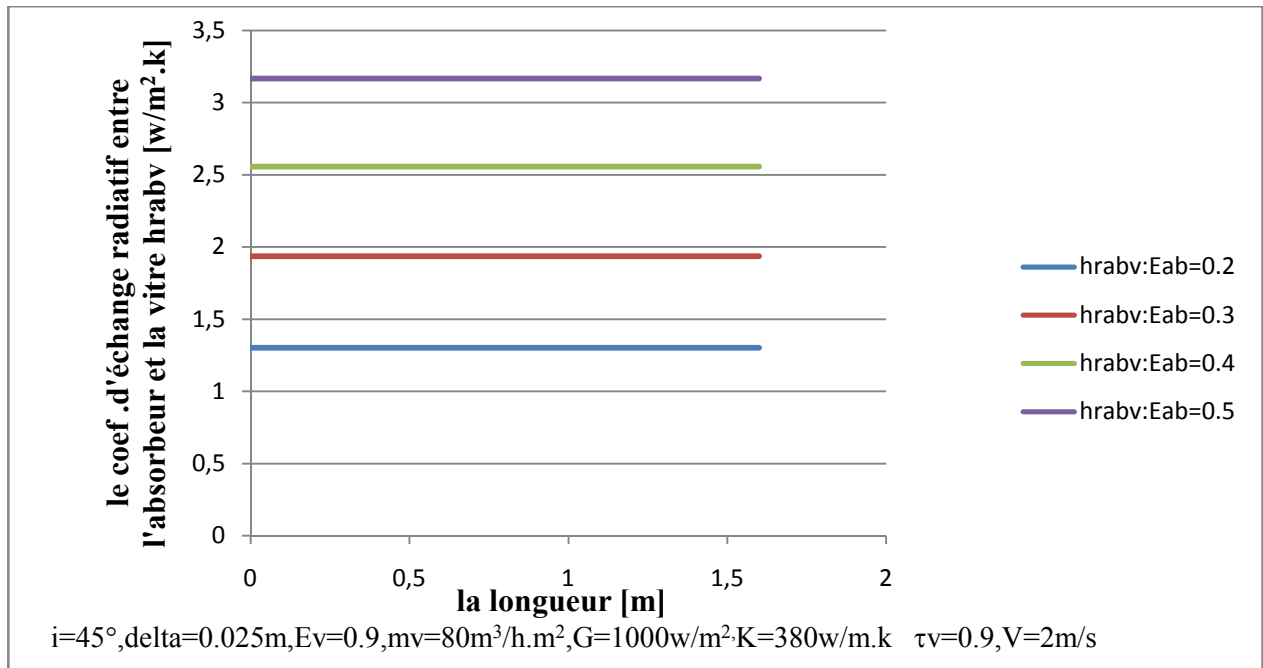


Fig.V.26. Variation du coefficient d'échange radiatif vitre-absorbeur

Quand l'emmissivité de l'absorbeur diminue, alors coefficient d'échange radiatif vitre absorbeur diminue.

V.3.5. Influence de l'emmissivité de la vitre:

Les courbes qui suivent représentent la variation des pertes thermiques sur la face avant du capteur solaire en fonction de l'emmissivité de la vitre.

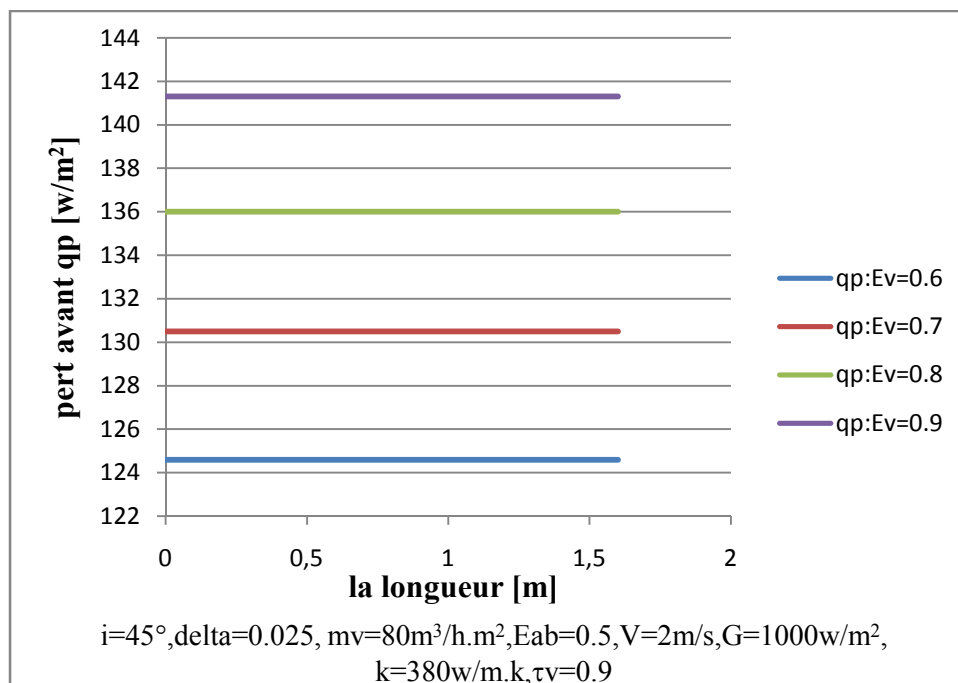


Fig. V.27. Variation des pertes avant pour différent émissivité de la vitre

On remarque que l'augmentation de l'émissivité de la vitre correspondant à l'augmentation des pertes avant.

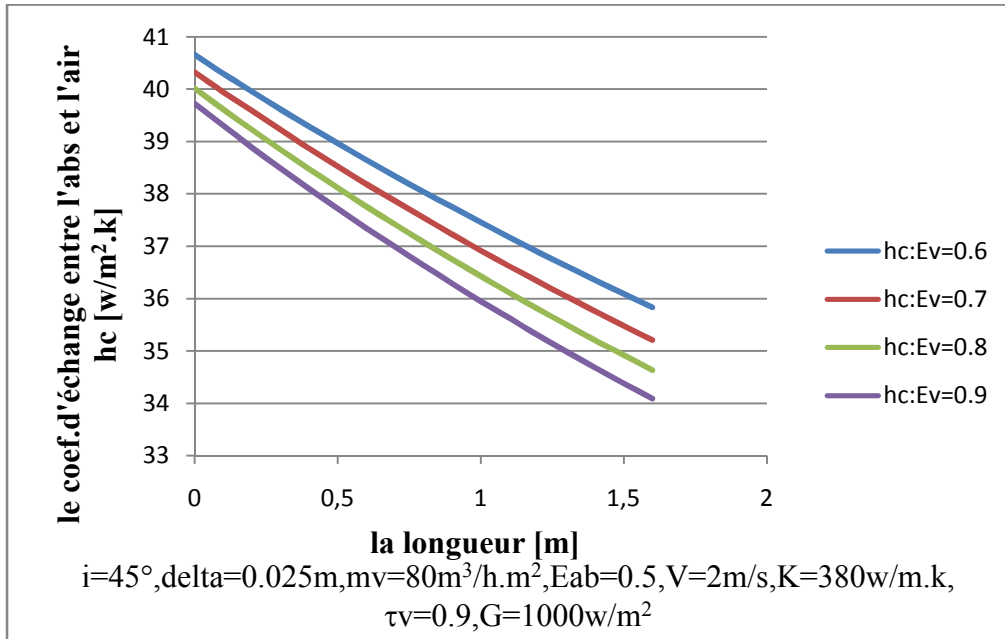


Fig. V.28. Variation du coefficient d'échange convectif abs-air

On remarque que quand l'émissivité de la vitre augmente le coefficient d'échange convectif abs-air diminue.

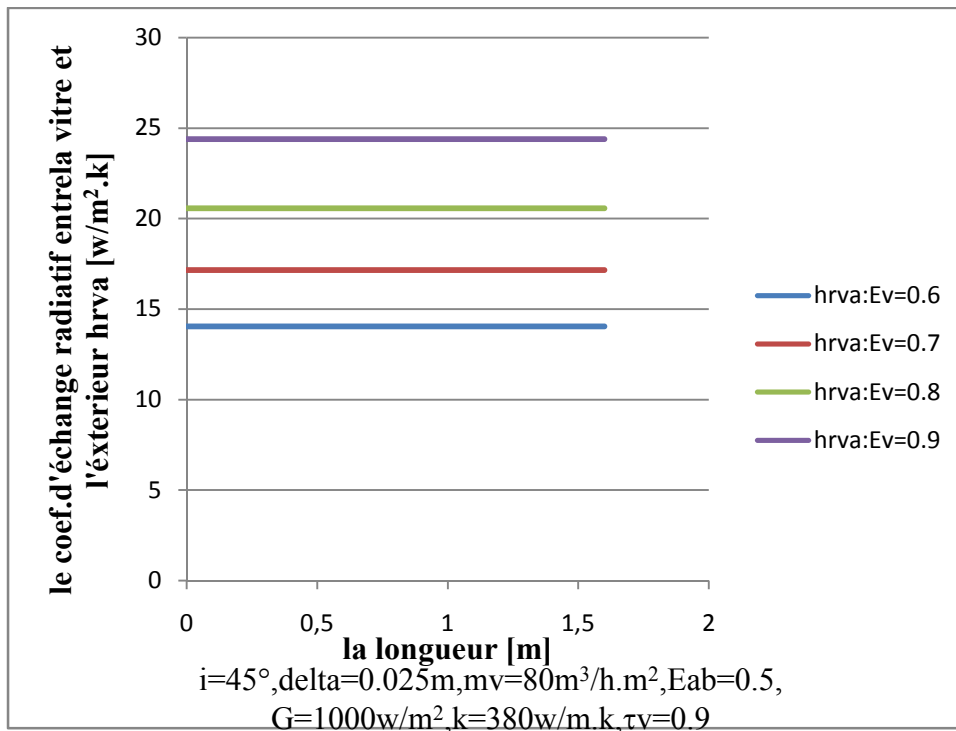


Fig. V.29. Variation du coefficient d'échange radiatif hrva vitre-extérieur

On remarque que quand l'émissivité de la vitre augmente le coefficient d'échange radiatif hr_{va} vitre-extérieur augmente.

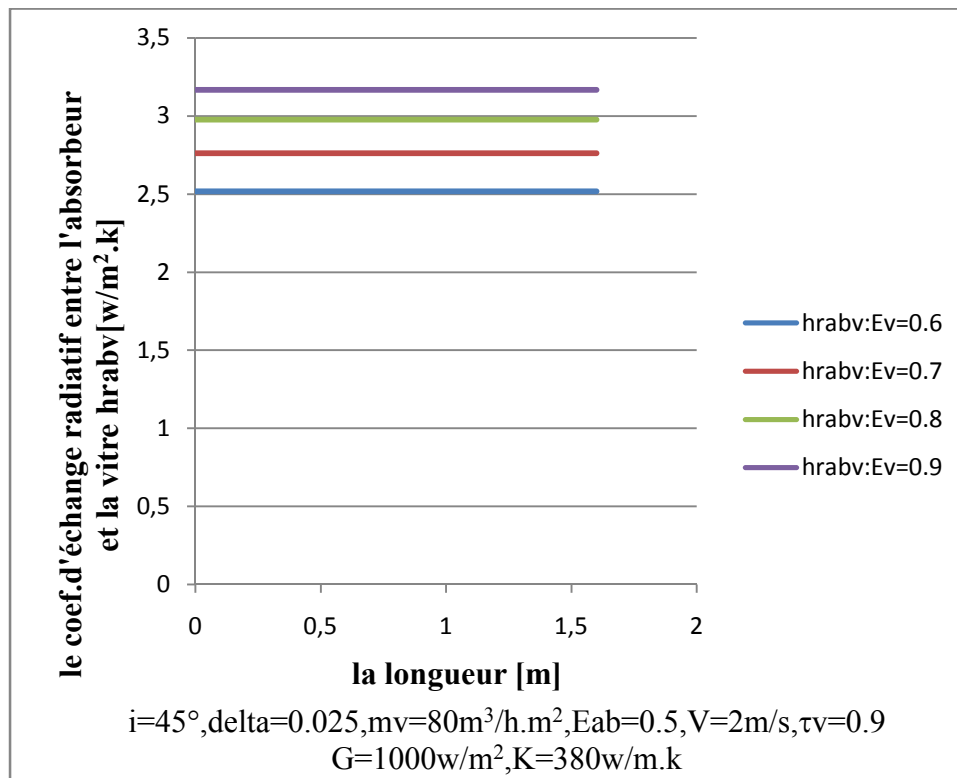


Fig. V.30. Variation du coefficient d'échange radiatif hr_{abv} vitre-absorbeur.

On remarque que quand l'émissivité de la vitre augmente le coefficient d'échange radiatif hr_{abv} vitre-absorbeur augmente

V.4.Conclusion :

Les résultats obtenu montrent à travers les courbes tracées que divers paramètres conduisent soit à la diminution ou à l'augmentation des pertes vers milieu extérieur qui sont l'émissivité de l'absorbeur, l'émissivité de la vitre, la veine d'air passive, inclinaisons du capteur solaire, la vitesse du vent, température ambiante.

Conclusion

générale

Conclusion générale

Le travail présenté dans ce mémoire concerne les calculs des pertes thermiques dans un échangeur de chaleur, applications à un capteur solaire plan à air. Nous avons en première phase étudié les travaux réalisés qui sont menés et qui ont eu le même objectif, surtout l'optimisation de ces systèmes dépendant de la variation des pertes thermiques en fonction de quelques paramètres pour obtenir une idée sur leur importance sur le bilan thermique. Nous avons remarqué que la géométrie du capteur joue un grand rôle sur la diminution ou l'augmentation des pertes thermiques (l'absorbeur, la couverture, les dimensions...). Ensuite nous sommes intéressés à la technologie de cette conversion de l'énergie solaire à l'énergie thermique en utilisant les capteurs solaires plans par absorption du rayonnement et faisant l'effet de serre entre l'absorbeur et le verre. Ceci permet de chauffer le fluide caloporteur et perdre une quantité vers le milieu extérieur par sa face avant. Donc ce bilan des échanges est responsable de l'efficacité du système. A cet effet le bilan thermique du système solaire nous a donné les équations permettant de calculer les coefficients d'échange et de pertes thermiques au niveau des différents composants. La programmation établie nous a permis de calculer ces différents coefficients et évaluer les pertes simulées en faisant varier différents paramètres physiques liés au système. Cette étude ne serait achevée que si les présents résultats étaient comparés à des résultats expérimentaux.

Références

Bibliographiques

Références Bibliographiques :

- [1] **M.T.Baissi**, «Etude théorique et expérimentale des paramètres de fonctionnement d'un capteur solaire plan». Mémoire de magister-Université Mohamed Khider – Biskra 2012.
- [2] **M.Zedayria**, « Effet des paramètres géométriques, thermophysiques et optiques sur les performances thermiques des capteurs solaires plans à air». Mémoire de magister-Université Mohamed Khider – Biskra 2010.
- [3] **C.Mahboub ,A.S.Tolba**,«Analyse des principaux facteurs d'optimisation des performances d'un capteur solaire plan à air». Mémoire d'ingénieur- Université Mohamed Khider – Biskra 2005.
- [4] **M.Hadj Belkacemi**, « Modélisation et Etude Expérimentation d'un Capteur Solaire non Vitré et Perforé». Mémoire de master- Université de Tlemcen le 06 juillet 2011.
- [5] **S.Souad**, «Effet des paramètres opérationnels sur les performances d'un capteur solaire plan». Thèse de magister (2010) 05-19.
- [6] **k.Salima**, «Etude théorique et numérique des système couples :distillateur plan-capteur et distillateur hot box-capteur».Thèse de magister(2009) 03-15.
- [7] **A.Hai,S.Hammadou**,«Etude de corrélation entre l'irradiation solaire et factures météorologiques». Mémoire de master- Université de Bejaia 2012-2013.
- [8] **N.Benbouza**,«Etude du rayonnement solaire dans la région de Batna» ».Mémoire de magister- Université de Batna 2008.
- [9] **YACINE Fouad**, «Etude des nouvelles générations de cellules photovoltaïque». Mémoire de magister- Université d'Oran 2010-2011.
- [10] **O.El Alani**, «Développement d'un modèle de prévision du rayonnement au sol par ciel clair». Mémoire de master- Université Sidi Mohamed Ben Abdellah 12 Juin 2017.
- [11] **N.Nadji**, « Étude des performances d'un capteur solaire plan à conversion thermique». Mémoire de master- Université de Badji Mokhtar Annaba 2017/2018.
- [12] **N.Moummi** : 'Les énergies renouvelables'. Polycopié de cours, Université de Biskra
- [13] **A. Bouras** , « Etude et conception d'un convertisseur solaire pour la production d'eau chaude sanitaire». Mémoire de magister-Université de Constantine 2007.
- [14] **M.Bouhediba**, « Simulation thermique d'une maison solaire pour la Production d'eau chaude sanitaire (ECS) ». Mémoire de master- Université de Chlef 2011-2012.

- [15] **L.Gherib**, « Etude et calcul des capteurs solaires plans "Application au chauffe - eau" ». Mémoire de master académique- Université de Ouargla 2014-2015.
- [16] **D.Halassa**, « Conception et réalisation d'un capteur solaire plan à air ». Mémoire de master - Université de Ouargla 2010-2011.
- [17] www.sites.google.com/site/solairetpv/home/energie-solaire/solaire-thermique.
- [18] www.ecosources.info/dossiers/Centrale_solaire_capteur_parabolique.
- [19] **F.Kalla**, « Conversion thermodynamique de l'énergie solaire ». Mémoire magister- Université de Batna 2014.
- [20] **O.Halloufi**, « Etude de la performance d'un distillateur solaire par un système de pre-chauffage solaire de l'eau saumâtre ». Mémoire de magister- Université Mentouri Constantine 2010.
- [21] **A.Mohammed Amine**, « Etude numérique d'un capteur solaire plan à air Influence de la forme de la rugosité », Mémoire de magister 2011-2012.
- [22] <http://www.ekopedia.fr/images/d/d3/Sechoir-solaire.png>.
- [23] **M.Sandali**, « Etude dynamique et thermique d'un capteur solaire à air à double passe avec milieu poreux ». Mémoire de magister- Université de Tlemcen 2013-2014.
- [24] **S.Karroute**, " étude théorique et numérique systèmes couples : distillateur plan-capteur et distillateur hot box -capteur ". Mémoire de magister- Université de Constantine 2009.
- [25] **S.Benlahmidi**, « Etude du séchage convectif par l'énergie solaire des produits rouges ». Thèse de Doctorat- Université de Biskra 29/05/2013.
- [26] **A.T.Ferdjani**, « Développement d'un logiciel de simulation des performances thermiques des capteurs solaires plans ». Thèse de magister- Université de Biskra 07/02/2013.
- [27] **M.S.Noun**, « Etude des paramètres impactant sur le rendement d'un capteur solaire ». Mémoire de master - Université Badji Mokhtar-Annaba 2017/2018.

Résumé

Résumé:

Le travail présenté dans ce mémoire concerne les calculs des pertes thermiques dans un échangeur de chaleur, applications à un capteur solaire plan à air. L'optimisation de ces systèmes dépend de la variation des pertes thermiques liées aux paramètres du bilan des échanges thermiques. Le bilan des échanges est responsable de l'efficacité du système. Ce bilan nous a donné les équations permettant de calculer les coefficients d'échange et de pertes thermiques au niveau des différents composants. La programmation établie nous a permis de calculer ces différents coefficients et évaluer les pertes simulées en faisant varier différents paramètres physiques liés au système.

Mots clés: Conversion, énergie, solaire, air, température, pertes, simulation.

ملخص

يتعلق العمل المقدم في هذه المذكرة بحساب الضياعات الحرارية في المبادل الحراري، والتطبيقات على اللوح الشمسي الهوائي. كما يعتمد تحسين هذه الأنظمة على اختلاف الضياعات الحرارية المتعلقة بمقاييس حصىلة التبادل الحراري. وان حصىلة التبادلات هي المسؤولة عن نجاعة النظام. كما أنه يمنحنا هذا التوازن المعادلات التي تسمح بحساب معاملات التبادل و الضياعات الحرارية على مستوى المكونات المختلفة. وقد مكنتنا البرمجة من حساب هذه المعاملات المختلفة وتقييم الضياعات المحاكية من خلال إختلاف المقاييس الفيزيائية المختلفة المتعلقة بالنظام.

كلمات المفتاح: تحويل، طاقة، شمسي، هواء، حرارة، ضياع، المحاكاة.