

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR  
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



N° d'ordre:.....  
Série:.....

UNIVERSITE DE OUARGLA  
FACULTE DES SCIENCES ET SCIENCES DE L'INGENIEUR  
DEPARTEMENT DE PHYSIQUE

# MEMOIRE

Présenté pour obtenir  
Le Diplôme de Magister En physique

Option  
Physique Energétique

Présenté par :

**BENAMRANE KARIMA**

THEME

**UTILISATION DES CAPTEURS SOLAIRES SOUS VIDE POUR  
LE FONCTIONNEMENT  
DU SYSTEME DE CLIMATISATION (Région de OUARGLA)**

Soutenu publiquement le 17/06/2004.

Devant le jury composé de:

<b>BOUGUETTAIA HAMZA</b>	<b>M.C Univ. Ouargla</b>	<b>PRESIDENT</b>
<b>BOUMAZA MOURAD</b>	<b>Prof Univ. Constantine</b>	<b>EXAMINATEUR</b>
<b>KHALFAOUI FATHI</b>	<b>M.C Univ. Ouargla</b>	<b>EXAMINATEUR</b>
<b>SAOULI SALAH</b>	<b>M.C Univ. Ouargla</b>	<b>EXAMINATEUR</b>
<b>KAABI ABDENACER</b>	<b>M.C Univ. Constantine</b>	<b>ENCADREUR</b>

Année Universitaire 2003/2004

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

## *REMERCIEMENTS*

Mes remerciements vont tout particulièrement à mon encadreur Monsieur **KAABI ABDNACER**, Maître de conférences au département de Génie climatique de l'Université de Mentouri Constantine.

J'exprime mes remerciements les plus chaleureux à Monsieur le professeur **AIDA MOHAMED SALEH**, Maître de conférences à l'Université de Constantine et j'exprime aussi mes remerciements à Monsieur **KARI BOULAKHRAS**, Docteur à l'Université de Batna, pour la riche documentation qu'il m'a empruntée.

J'exprime mes remerciements à :

- Monsieur **SAOULI SALAH**, Maître de conférences à l'université d'Ouargla.
- Monsieur **KHALFAOUI FATHI**, Maître de conférences à l'université d'Ouargla.
- Monsieur **BOUGUETTAYA HAMZA**, Maître de conférences à l'Université d'Ouargla.
- Monsieur **BOUMAZA MOURAD**, professeur à l'U.Constantine.

D'avoir accepté d'être dans mon jury de soutenance.

Mes vifs remerciements vont aussi à :

Monsieur **MARZOUK .M**, du C.D.E.R Bouzaréah, Alger.

Et je ne peux oublier de remercier très vivement Monsieur **HAKKOUM MOHAMMED MOKHTAR**, Agent de la bibliothèque de l'Université de Ouargla, que pour leur aide et leur courage ment continus.

Mes remerciements vont aussi aux agents de :

- l'**I.D.E.R** du **GHARDAIA**, particulièrement **MOHAMMED BEN GHANIA**, **KARIM KACI** et **SAFIR**.
- La bibliothèque centrale de l'université d'Ouargla, particulièrement **BELKHEIR ALI**, **ABD ELHAMID** et **LEHBIB**.

Je remercie aussi toute personne qui m'a aidé de loin ou de près, particulièrement à ma famille et à mes amis surtout **SAIDAT .M**, **BOUAFIA.M**, **RACHIDA .D**, **AMEL .G**, **MOUNA ZAIDI**.

Je désire à la fin exprimer mes reconnaissances les plus particulières à tous les enseignants, au personnel et aux étudiants de l'université d'Ouargla.

## الإهداء

إلى من أناروا لي دربي واستأثروا بكل حبي، إلى التحفيتين النادرتين أمي  
و أبي أطل الله عمريهما.

إلى معالم الإحترام وأمثلة الإخلاص إخوتي و أخواتي الأعزاء، خاصة عمر،  
نورة، زينب، عمران، أسماء، محمد الأمين....

إلى جدتي العزيزتين و جدي حفظهم الله.

إلى أعمامي، أخوالي و خالاتي خاصة بوعمامة، خالد صليحة و حميدة.

إلى كل صديقاتي خاصة فاطمة، ريمة، فيروز، وسيلة، سميرة،

رشيدة، رزيقة، الزهرة، نصيرة و سعيدة مع تمنياتي لها بالشفاء العاجل...

إلى كل من تعرفني و إلى كل طالب علم مجد في طلبه.

# Sommaire

<b>Remerciements</b>	
<b>Dédicace</b>	
<b>Sommaire</b>	
<b>Nomenclature</b>	
<b>Liste des Figures</b>	
<b>Liste des Tableaux</b>	
<b>INTRODUCTION GENERALE</b>	<b>01</b>

## **CHAPITRE I** **Caractéristiques générale**

<b>I.1 Notions sur le gisement solaire.</b>	<b>03</b>
I.1.1 Caractéristique du soleil.	<b>03</b>
I.1.2 La constante solaire.	<b>04</b>
I.1.3 Rayonnement au voisinage du sol.	<b>04</b>
I.1.4 Notion sur l'astronomie.	<b>05</b>
I.1.5 Mouvement de la terre autour du soleil.	<b>06</b>
I.1.6 Définition des différents temps.	<b>08</b>
<b>I.2 Capteurs solaire.</b>	<b>09</b>
I.2.1 Les base de captation	<b>10</b>
I.2.2 Les principaux composants des capteurs solaires.	<b>10</b>
I.2.3 Différents types de capteurs.	<b>11</b>
I.2.3.1 Les capteurs solaires à eau	<b>11</b>
I.2.3.2 Les capteurs solaires à air	<b>11</b>
I.2.3.3 Les capteurs solaires sous-vide	<b>11</b>
<b>I.2.4 Paramètres et caractéristiques de fonctionnement des capteurs solaires</b>	<b>12</b>

## **CHAPITRE II** **Etude thermique d'un capteur solaire**

<b>II.1 Puissance incidentes.</b>	<b>14</b>
II.1.1 Flux diffus reçu par la surface du capteur solaire.	<b>17</b>
II.1.2 Puissance Absorbées.	<b>17</b>
II.1.2.1 Puissance absorbée par la vitre	<b>17</b>
II.1.2.2 Puissance absorbée par l' l'absorbeur.	<b>19</b>
<b>II.2 Echange thermique.</b>	<b>19</b>
II.2.1 Echange par conduction.	<b>19</b>
II.2.2 Echange par convection.	<b>20</b>
II.2.3 Echange par rayonnement.	<b>21</b>
<b>II.3 Calcul des pertes de chaleur.</b>	<b>21</b>
II.3.1 Pertes par convection entre le vitrage et l'air ambiant.	<b>21</b>
II.3.2 Pertes par rayonnement.	<b>21</b>
<b>II.4 Bilan énergétique du capteur solaire sous-vide</b>	<b>23</b>
II.4.1 Calcul de la puissance utile récupérée par le fluide caloporteur	<b>23</b>

II.4.2 Calcul du Facteur d'efficacité global $F_R$	23
II.4.3 Calcul du facteur de la surface collection du capteur F	23
II.4.4 Calcul du facteur de rendement de l'ailette F	25
II.4.5 Rendement instantané	26

### CHAPITRE III

#### Etude du système de climatisation

<b>III.1 Climatisation solaire</b>	<b>29</b>
<b>III.2 Capteurs utilisés</b>	<b>29</b>
<b>III.3 Les machines frigorifiques</b>	<b>29</b>
III.3.1 Cycle de refroidissement par compression mécanique	29
III.3.1.1 Cycle de Carnot	29
III.3.1.2 Coefficient de performance "COP":	30
III.3.1.3 Calcul thermodynamique d'une installation frigorifique à compression mécanique simple	31
III.3.1.4 Fluide frigorigènes Utilisés	32
III.3.2 Cycle de refroidissement à absorption	32

### CHAPITRE IV

#### Résolution mathématique du système

<b>IV.1 Hypothèses simplificatrices</b>	<b>35</b>
<b>IV.2 Modélisation</b>	<b>35</b>
IV.2.1 Modélisation du capteur	35
IV.2.2 Echange thermique	35
<b>IV.3 Description des équations du système</b>	<b>35</b>
<b>IV.4 Schéma électrique équivalent</b>	<b>36</b>
<b>IV.5 Mise en équation du système</b>	<b>39</b>
<b>IV.6 Discrétisation des équations</b>	<b>40</b>
<b>IV.7 Résolution du système d'équation</b>	<b>43</b>
<b>IV.8 Organigramme développe pour le calcul numérique des paramètres inconnus</b>	<b>44</b>

### CHAPITRE V

#### Interprétation et discussion des résultats

<b>V. Interprétation et discussions des résultats</b>	<b>47</b>
<b>V.1 Données météorologiques (Ouargla)</b>	<b>47</b>
<b>V.2 Données du problème</b>	<b>47</b>
<b>V.3 Analyse des résultats de simulation</b>	<b>48</b>
<b>Conclusion générale</b>	<b>59</b>
<b>Références bibliographique</b>	<b>61</b>
<b>Annexes</b>	<b>64</b>
<b>Résumés</b>	

## LISTE DES FIGURES

<b>Figure I.1:</b>	Structure du soleil.	<b>4</b>
<b>Figure I.2:</b>	Coordonnées géographiques d'un lieu.	<b>5</b>
<b>Figure I.3:</b>	Mouvement de la terre autour le soleil.	<b>6</b>
<b>Figure I.4:</b>	Azimut.	<b>8</b>
<b>Figure I.5:</b>	Coupe longitudinal de capteur solaire sous-vide.	<b>12</b>
<b>Figure II.1:</b>	L'angle d'incidence du rayonnement solaire sur un capteur incliné.	<b>16</b>
<b>Figure II.2:</b>	Volume de contrôle.	<b>23</b>
<b>Figure III.1:</b>	Cycle de Carnot en de réfrigération.	<b>30</b>
<b>Figure III.2:</b>	Cycle frigorifique de Carnot avec un frigorifique.	<b>31</b>
<b>Figure III.3:</b>	Cycle standard à compression mécanique simple.	<b>31</b>
<b>Figure III.4:</b>	Schéma de principe d'une machine frigorifique à absorption.	<b>33</b>
<b>Figure IV.1:</b>	Les différences nœuds considérés dans la maille.	<b>36</b>
<b>Figure IV.2:</b>	Schéma des échanges thermiques au niveau d'une maille.	<b>37</b>
<b>Figure IV.3:</b>	Schéma électrique équivalent.	<b>38</b>
<b>Figure IV.4:</b>	Organigramme développé pour calcul numérique le performance.	<b>44</b>
<b>Figure V.1:</b>	Variation de rendement instantané du capteur en fonction du temps.	<b>48</b>
<b>Figure V.2:</b>	Variation de rendement instantané en fonction du l'inclinaison.	<b>49</b>
<b>Figure V.3:</b>	Variation de rendement instantané en fonction du rapport $(T_{fe}-T_a)/I_G$ .	<b>50</b>
<b>Figure V.4:</b>	Variation de rendement instantané en fonction du Rayonnement direct sur le capteur	<b>51</b>
<b>Figure V.5:</b>	Variation de température intérieure de la vitre en fonction du temps.	<b>52</b>
<b>Figure V.6:</b>	Variation de température extérieure de la vitre en fonction du temps.	<b>53</b>
<b>Figure V.7:</b>	Variation de température de l'absorbeur en fonction du temps.	<b>54</b>
<b>Figure V.8:</b>	Variation de température du fluide caloporteur en fonction du temps.	<b>55</b>
<b>Figure V.9:</b>	Variation de température de l'insolant en fonction du temps.	<b>56</b>
<b>Figure A.1:</b>	Nombre Air masse.	<b>64</b>

## LISTE DES TABLEAUX

<b>Tableau I.1:</b>	Classification de l'albédo	<b>05</b>
<b>Tableau II.1:</b>	Valeurs déterminant A et K	<b>15</b>
<b>Tableau II.2:</b>	Tableau donnant les valeurs des coefficients A et B	<b>16</b>
<b>Tableau IV.1:</b>	Tableau représentant l'analogie électrique	<b>36</b>
<b>Tableau A.1:</b>	Masse d'air pour rayons de faible hauteur angulaire	<b>65</b>
<b>Tableau B.1:</b>	Unité de mesure du Vide	<b>66</b>
<b>Tableau B.2:</b>	Les températures d'Ouargla (1989-2001)	<b>66</b>
<b>Tableau B.3:</b>	Les valeurs mensuelles moyennes des vitesses du vent pour Ouargla.	<b>67</b>
<b>Tableau C.1:</b>	Propriété de quelque matériau habituellement utilisée.	<b>68</b>
<b>Tableau C.2:</b>	Propriété de quelque couverture utilisée pour l'effet de serre.	<b>68</b>
<b>Tableau C.3:</b>	Conductivité thermiques de quelque matériau pour absorbeurs.	<b>68</b>



## Nomenclature

### Lettres latines

Symbole	Désignation	Unité
$A_I$	La section	$m^2$
$A$	L'intensité de l'éclairement hors l'atmosphère	$W/m^2$
$B$	Largueur de la soudure	$m$
$C$	Coefficient de distance terre-soleil	
$C_P$	Chaleur massique du fluide	$J/Kg.K$
<b>COP</b>	Coefficient de performance de l'installation	
$D_e$	Diamètre extérieur du tube	$m$
<b>DE</b>	Le décalage entre TL et TU	<b>heure</b>
$D_I$	Diamètre intérieur du tube	$m$
$e_i$	L'épaisseur de l'isolant	$m$
$e_p$	L'épaisseur de l'absorbeur	$m$
$e_v$	L'épaisseur de la couverture	$m$
$e_s$	L'épaisseur de la soudure	$m$
$E_t$	L'équation du temps	<b>min</b>
$F_r$	Facteur de rendement de chaleur	
$F'$	Facteur d'efficacité de chaleur	
$h$	Hauteur angulaire de soleil	<b>degré</b>
$h_c$	Coefficient d'échange de chaleur par convection	$W/m^2.k$
$H$	L'enthalpie	<b>J</b>
$h_w$	Coefficient de transfert convectif du à l'effet de vent	$W/m^2.k$
$i$	L'angle d'incidence	<b>degré</b>
$I_G$	Rayonnement global	$W/m^2$
$I_{DIR}$	Rayonnement direct	$W/m^2$
$I_{DIF}$	Rayonnement diffus	$W/m^2$
$I_O$	Constante solaire	$W/m^2$
$I_{DN}$	L'intensité de l'éclairement qui arrive au sol incidence normal.	$W/m^2$
$I$	Densité de courant	$A/m^2$
$K$	Coefficient d'extinction	
$M_I$	Masse du lieu «i» du système	<b>Kg</b>
$m$	Débit massique total du fluide	<b>Kg/s</b>
$n$	Indice de réfraction	
$N$	Nombre de molécule par unité de volume	
$n_1$	Indice de réfraction de l'air	
$n_2$	Indice de réfraction de verre	
$P_p$	La puissance absorbée par l'absorbeur	$W/m^2$
$P_v$	La puissance absorbée par la vitre	$W/m^2$
$P/P_O$	Pression relative dans un lieu donné et pour une atmosphère standard	
$P_r$	Nombre du Prandtl	
$Q$	Flux du chaleur	<b>W</b>

$Q_c$	La puissance thermique	
$Q_J$	Nombre de jours de l'année	Jour
$Q_m$	Débit massique du fluide frigorigène	Kg/s
$Q_p$	L'échange de chaleur entre l'absorbeur et milieu extérieur	$W/m^2$
$Q_u$	L'échange de chaleur entre l'absorbeur et le fluide caloporteur	$W/m^2$
$R$	Résistance électrique	$\Omega$
$R_{dif}$	La réflexion	
$T_a$	La Température ambiante	K
$T_v$	La Température de la vitre	K
$T_p$	La Température de l'absorbeur	K
$T_{ie}$	Température d'entrée du fluide caloporteur	K
$T_c$	La Température de la voûte céleste	K
$T_a$	Coefficient de transmission du à l'absorption	
$T_p$	Coefficient de transmission du la réflexion	
TU	Temps solaire universel	heur
TL	Temps solaire légal	heur
TSV	Temps solaire vrai	heur
TSM	Temps solaire moyen	heur
$U_g$	Coefficient de transfert global	$W/m^2C^\circ$
$v$	Vitesse moyenne du fluide	m/s
V	Potentiel	volts
W	Le travail massique fourni au système	$K_J/Kg$

## Lettres grecs

Symbole	Désignation	Unité
$\overline{\text{grade}}$	Gradient	
$\Delta$	Ecart	
$\alpha$	Coefficient d'absorption	
$\varepsilon_v$	Emittance de la couverture	
$\varepsilon_p$	Emittance de l'absorbeur	
$\varepsilon$	Emittance	
$\tau$	Coefficient de transmission	
$\delta$	La déclinaison	degré
$\phi$	Latitude	degré
	Angle horaire	degré
$\lambda$	Longitude	degré
	Angle zénithal	degré
$\mu$	Viscosité dynamique du fluide.	$Kg/m.s$
$\nu$	Viscosité cinématique du fluide.	$m^2/S$
$\sigma$	Constant de Stephen Boltzmann.	$W/m^2.K^4$
	Angle d'inclinaison du capteur	degré
	La masse volumique	$Kg/m^3$
	L'azimut	

$\phi$	Flux thermique Rendement thermique	$W/m^2$
--------	---------------------------------------	---------

### Nombres adimensionnels

<b>Symbole</b>	<b>Désignation</b>	<b>Unité</b>
<b>Re</b>	Nombre de Reynolds	
<b>N<sub>u</sub></b>	Nombre du Nusselt	
<b>Gr</b>	Nombre de Grachouff	

### Les indices

<b>Symbole</b>	<b>Désignation</b>	<b>Unité</b>
<b>A</b>	L'absorbeur	
<b>Av</b>	Avant	
<b>arr</b>	Arrière	
<b>c</b>	Capteur	
<b>dif</b>	Diffus	
<b>dir</b>	Direct	
<b>Lat</b>	Latéral	
<b>v</b>	La vitre	

# introduction générale

## **INTRODUCTION GENERALE**

L'énergie solaire thermique est aujourd'hui techniquement fiable. Elle n'a pas besoin d'une technologie de pointe pour son utilisation.

Les capteurs solaires convertissent directement l'énergie solaire en chaleur. Ils sont composés d'un absorbeur placé sous un vitrage, celui-ci laisse pénétrer la lumière solaire et piège le rayonnement infrarouge (la chaleur).

L'énergie solaire peut être utilisée dans quatre applications principales, à savoir :

- La production d'eau chaude sanitaire.
- Le chauffage.
- Le chauffage de l'eau des piscines.
- Les applications industrielles à hautes températures.

Les capteurs sous vide sont naturellement un aboutissement logique du développement des capteurs plans par la réduction des pertes thermiques, en éliminant le transfert par convection entre l'absorbeur et la couverture en vue d'améliorer les performances des capteurs plans.

Son optimisation s'obtient généralement par :

- L'adoption de couverts vitrés à faible teneur en oxyde de Fer [1].
- Le choix de couverts à faible épaisseur.
- Le dépôt d'une couche anti-réflexion sur la paroi externe du vitrage [2].
- Le dépôt d'une couche réfléchissante sur la paroi interne de la couverture.

L'objectif est d'étudier la performance d'un capteur solaire sous-vide en tenant compte de certains paramètres tels que ; la déclinaison de capteur, le rapport de la différence de température sur le rayonnement global. .. etc. Cette étude comprend cinq chapitres en plus d'une partie annexe.

- Le premier chapitre comprend caractéristique générales qui tend à faire connaître le gisement solaire, les différents types de capteurs solaires.
- Le second chapitre concerne l'étude théorique du capteur.
- Le troisième chapitre concerne l'étude du système de climatisation.
- Le quatrième chapitre est consacré à la résolution mathématique du système, où nous procédons à une modélisation du système, une étude numérique a été mise au point pour résoudre nos équations en traduisant l'ensemble en langage «VISUEL FORTRAN»
- Le cinquième chapitre aborde l'interprétation et la discussion des différents résultats issus de notre modélisation sous forme de graphes.

En fin, nous clôturons cette étude par une conclusion générale et des recommandations. Une partie annexe a été ajoutée, où figurent quelques notions se rapportant au rayonnement ainsi que quelques données utilisées dans notre étude en plus du programme de calcul.

## Chapitre I

# Caractéristiques générale

## 1.1. Notions sur le gisement solaire :

Le gisement solaire représente l'énergie disponible sous forme de rayonnement L'énergie solaire est le moteur de toutes les grandes sources d'énergie naturelles.

### 1.1.1. Caractéristiques du soleil :

Le soleil est une étoile autour de laquelle gravite la terre. Son énergie provient des réactions thermonucléaires de la fusion de l'hydrogène en hélium. Sa température superficielle moyenne est estimée à **5800 K** [3].

- La **surface lumineuse** habituellement visible, ou photosphère est d'environ 100Km d'épaisseur.
- La **chromosphère** : est la couche inférieure de l'atmosphère solaire, entre la photosphère et la couronne.
- Le **globe solaire** limité par le photosphère a un rayon égal à **696000 Km**, soit environ **109** fois le rayon équatorial de la terre sa densité moyenne n'est que de **1.41** de sorte que la masse est **333000** fois plus grande que celle de la terre, Pour un volume **1300000** fois plus important. La distance moyenne de la terre au soleil est voisine de **150** millions de Km. Le rayonnement solaire met environ 8 minutes, pour nous parvenir.
- Le **périhélie**: est le point de l'orbite d'une planète le plus proche du soleil.
- L'**aphélie**: est le point l'orbite d'une planète le plus éloigné du soleil [3].

Le soleil n'est pas une sphère homogène, on peut, y distinguer trois régions principales (Figure I.1) [3,4].

- L'intérieur.
- La photosphère.
- La chromosphère et la couronne.

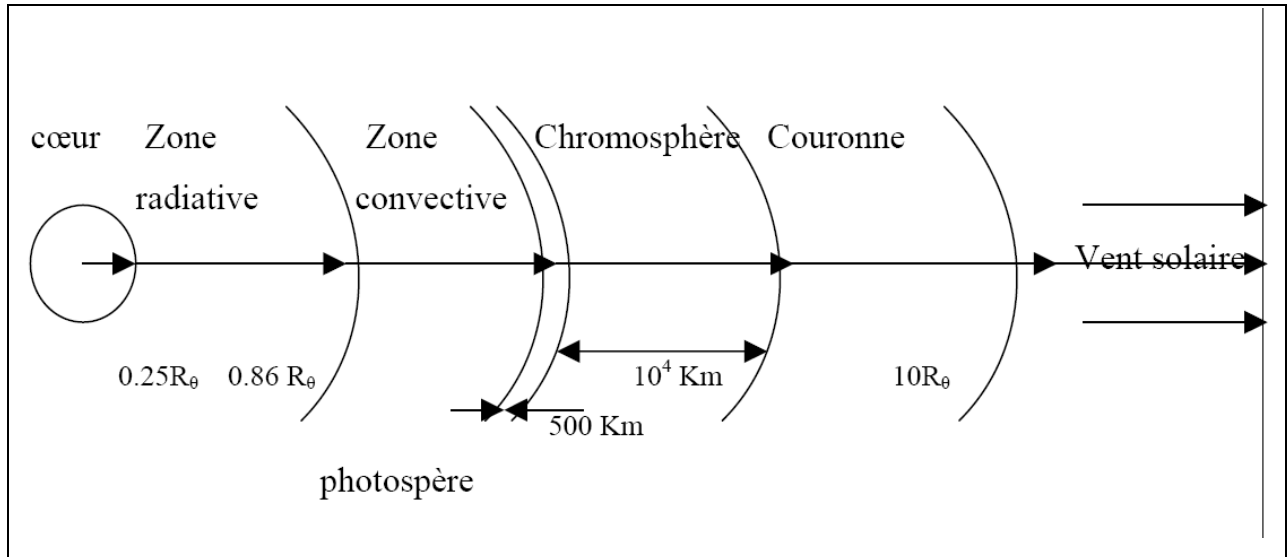


Figure I.1. Structure du soleil.

### I.1.2. La constante solaire :

La constante solaire est se dit de l'éclairement énergétique d'une surface normale aux rayons solaires, Située à la limite de l'atmosphère. Cette valeur est environ à  $1353 \text{ W/m}^2$ .

### I.1.3. Rayonnement au voisinage du sol [5] :

On vue utilisation de l'énergie solaire on s'intéresse au rayonnement reçue au voisinage du sol, qu'à la limite de l'atmosphère terrestre.

Le rayonnement solaire arrivant au sol se compose du rayonnement direct et du rayonnement diffus.

**Le rayonnement direct  $I_{DIR}$** : est le rayonnement solaire incident sur un plan donné, est provenant d'un petit angle solide centré sur le disque solaire.

**Le rayonnement diffus  $I_{DIF}$** : est le rayonnement Solaire réfléchi revient frapper la terre.

Il comprend la plus grande partie du rayonnement réfléchi par le sol, suivant l'inclinaison de la surface réceptrice, dont l'ensemble donne **le rayonnement global ( $I_G$ )**.

### I.1.4. Notions sur L'astronomie :

**I.1.4.1. L'équateur** : C'est une ligne fictive de séparation entre l'hémisphère et l'hémisphère sud.

**I.1.4.2. La latitude du lieu  $\varphi$** : C'est l'éloignement par rapport à l'équateur, mesuré en degré.

**I.1.4.3. La longitude ( $\lambda$ )** : C'est l'éloignement par rapport ou méridien de Greenwich, mesuré en degré.

**I.1.4.4. l'altitude ( $Z$ )** : L'altitude d'un point correspond à la distance verticale entre ce point et une surface de référence théorique (niveau moyen de la mer =  $\pm 0,00$ ), il est généralement exprimé en mètre (Figure I.2).



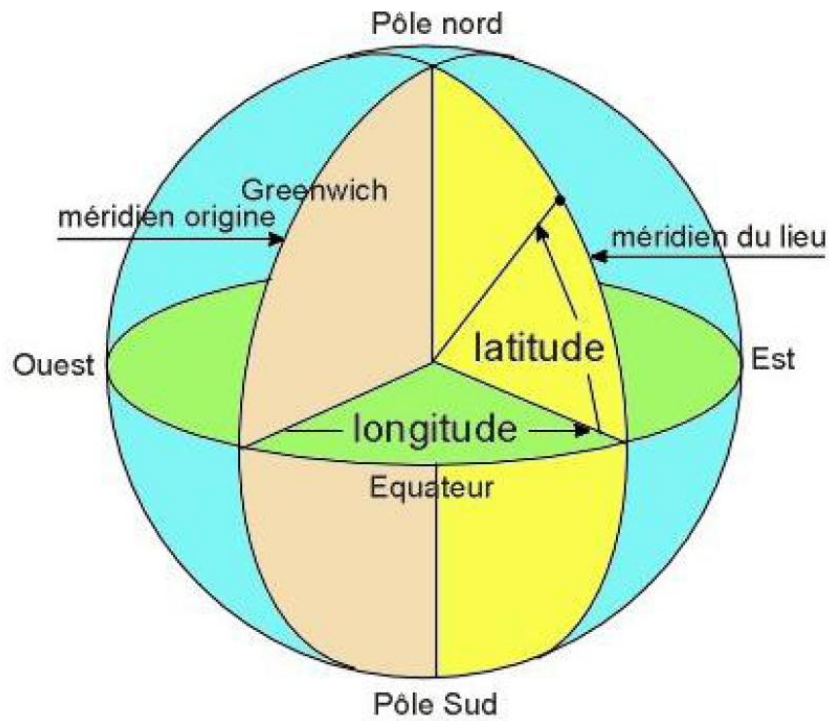


Figure I.2. Coordonnées géographiques d'un lieu

**I.1.4.5 l'albédo ( $\rho$ ):**

C'est la fraction de l'énergie incidente diffusée par corps lumineux (Tableau I.1) Ainsi pour un corps noirs parfait, l'albédo est nul [5,6].

Milieu	$\rho$
Dalle de béton	0.15
Terre nue	0.17
Sols et végétations ordinaires	0.20
Gravier	0.22
Herbe sèche	0.30
Sol couvert de neige	0.80

Tableau I.1. Valeurs de l'albédo.

### I.1.5. Mouvement de la terre autour du soleil :

#### I.1.5.1 La terre [3]:

La terre est considérée ici comme une sphère ayant un diamètre égal à  $1,27 \cdot 10^4$  Km donc 100 fois plus petit que celui du soleil.

#### I.1.5.2. Mouvement de la terre:

Les mouvements de la terre dans l'espace sont nombreux, mais à notre échelle de temps, les seuls qui nous intéressent sont la révolution autour du soleil et sa rotation autour d'elle-même (Figure I.3)

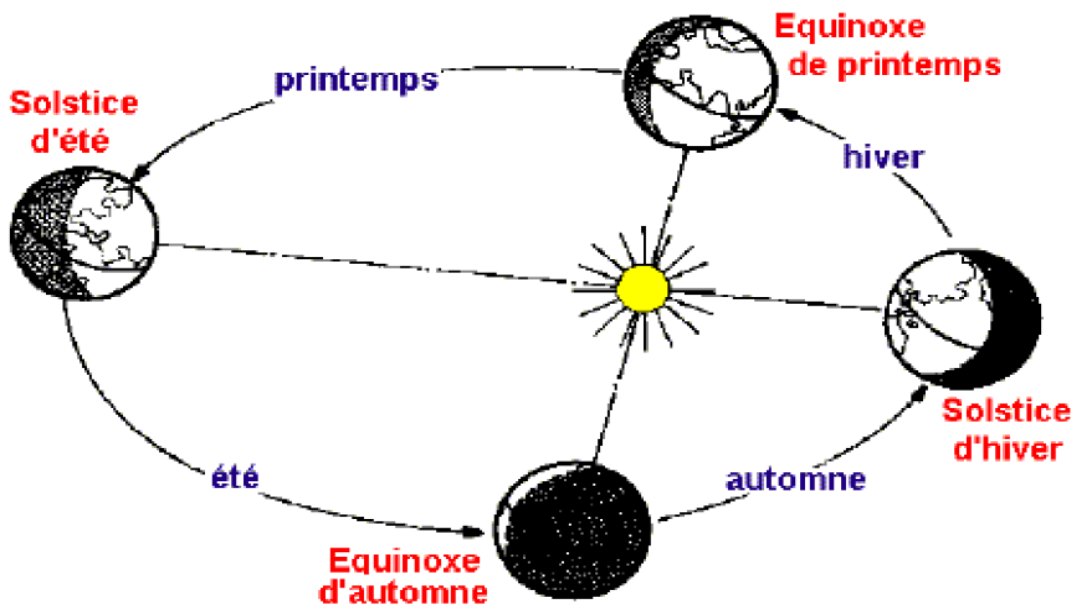


Figure I.3. Mouvement de la terre autour du soleil.

#### I.1.5.3. Déclinaison ( $\delta$ ):

C'est l'angle formé entre la direction du soleil et de plan équatorial. Elle est calculée par la formule suivante :

$$\delta = 23.45 \sin \left[ \frac{360}{365} (Q_J - 284) \right] \quad (\text{degré}) \quad (\text{I.1})$$

$Q_J$  : Nombre de jours de l'année à partir du premier janvier.

La déclinaison est égale à zéro aux équinoxes et varie de  $+23.45^\circ$  correspondant au **22 juin** à  $(-23,45^\circ)$  correspondant au **22 Décembre**.

**I.1.5.4. Les équinoxes:** Sont les deux dates de l'année où le rayonnement solaire traverse le plan équatorial : sa déclinaison est alors **nulle** et les durées du jour et de la nuit sont égales.

- **L'équinoxe d'automne** : intervient vers le **22 Septembre**.
- **L'équinoxe de printemps** : Vers le **22 mars**, dans l'hémisphère nord. Dans l'hémisphère nord.
- **Le solstice d'été, vers le 21 juin**, est la période au cours de laquelle la durée qui sépare le levé et le couché du soleil cesse de croître **au maximum à 16 h 8 mn**.
- **Le solstice d'hiver : (vers le 21 Décembre)**: est la période au cours de laquelle cette durée cesse de décroître au minimum à **8 h 12 mn**. Les saisons sont inversées dans l'hémisphère sud.

#### I.1.5.5. L'angle horaire solaire ( $\omega$ ) :

Est l'angle formé entre la projection plan équatorial à un moment donné et la projection du soleil sur ce même plan ou midi vrai.

$$\omega = \lambda + 15. (ET + TL - 12 - DE) \quad (\text{degré}) \quad (\text{I. 2})$$

Où:

$DE$  : est le décalage entre  $TL$  et  $TU$ .

$TU$  : temps universel.

$TL$  : temps légal.

$$DE = TL - 12 \quad (\text{degré}) \quad (\text{I.3})$$

Pour midi :

$$TL = TU \quad (\text{degré}) \quad (\text{I.3.a})$$

Par exemple, en Algérie, il est 13h à midi  $TU$ . Donc,  $DE = 13 - 12 = 1$  heure. On dit que l'heure légale de l'Algérie est  $TU - 1$ .

**I.1.5.6. midi vrai : (ou midi solaire)** : C'est l'heure locale à laquelle le soleil passe au méridien du point d'observation.

**I.1.5.7. Heure solaire** : C'est l'heure de la journée déterminée par le mouvement du soleil, égale à **12h00** au vrai.

Pour obtenir l'heure légale, il faut lui additionner l'équation du temps, la correction de la longitude et éventuellement l'heure d'été.

**I.1.5.8. Hauteur angulaire du soleil ( $h$ )**: l'hauteur soleil est l'angle entre la droite joignant le centre du disque solaire ou point d'observation et le plan horizontal, passant par le point d'observation.

$$\sin(h) = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \omega \quad (\text{degré}) \quad (\text{I.4})$$

**I.1.5.9. Azimut ( $\psi$ ) :** C'est l'angle mesuré dans le sens des aiguilles d'une montre entre le point cardinal sud (dans l'hémisphère sud) et la projection sur le plan horizontal local de la droite reliant la terre au soleil. L'angle est mesuré dans le sens des aiguilles d'une montre dans l'hémisphère nord et dans le sens contraire. Dans l'hémisphère sud. En utilisant les projections sur le plan horizontal du point d'observation (Figure I.4)

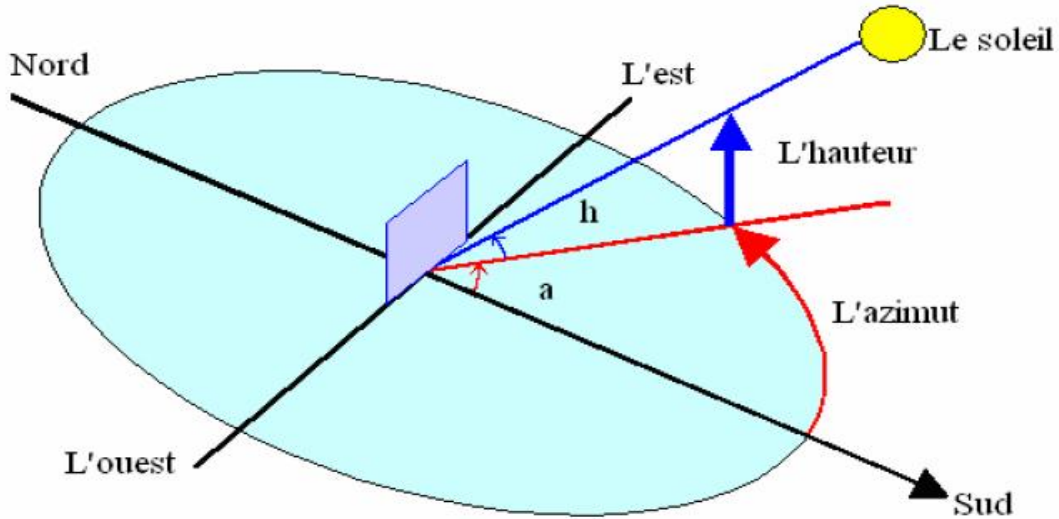


Figure I.4. Azimut

$$\sin \psi = \frac{\cos \delta \sin \omega}{\cos(h)} \quad (I.5)$$

**Remarque :** L'azimut solaire est négatif le matin (direction est) nul ou égal à 180 à midi et positif l'après-midi (direction ouest) Sur tout le globe.

**I.1.5.10. le Zénith [5] :** C'est le point le plus élevé de l'hémisphère céleste, se Trouant directement à l'observation.

**I.1.6. Définition des différents temps:**

Toutes les valeurs du temps dans le calcul d'énergie solaire sont exprimées en temps solaire vrai.

**I.1.6.1. Le temps solaire vrai (TSV) :**

C'est l'ange dièdre du méridien du soleil et du lieu à un instant donné, TSV est donné par les cadrans solaires et temps.

$$TSV = 12 + \frac{\omega}{15} \quad (\text{heure}) \quad (I.6)$$

**I.1.6.2. le temps solaire moyen (TSM) :**

Il est parfois appelé le temps solaire locale «TSL»

$$TSM = TSV - \left(\frac{ET}{60}\right) \quad (\text{heure}) \quad (I.7)$$

**I.1.6.3. le temps solaire civil :**

Il représente le temps moyen avec comme origine minuit [6].

**I.1.6.4. le temps solaire universel :**

Il est défini comme étant le temps solaire moyen du méridien de GREENWICH (longitude Zéro), pour un lieu à la longitude «λ»

$$TU = TL - DE \quad (\text{degré}) \quad (I.8)$$

**I.1.6.5. le temps solaire légal [6]:**

Il représente l'heure lié au «TU» par une différence fixe exprimée en un nombre entier d'heures qui dépend de la longitude.

**I.1.6.6. l'équation du temps (Et) :** elle est exprimée par la relation suivante:

$$ET = 0.0002 - 0.4197 \cos x + 3.2265 \cos 2x + 0.0903 \cos 3x + 7.3509 \sin x + 9.3912 \sin 2x + 0.3361 \sin 3x \quad (\text{minute}) \quad (I.9)$$

Où [3]:

$$x = \frac{2\pi Q_J}{366} \quad (\text{radient}) \quad (I.9.a)$$

Q<sub>J</sub> : étant le quantième du jour ;

Et donné aussi comme [10]:

$$\left. \begin{aligned} Et &= -[9 \sin (Q_J) / 0.5] - 5 && \text{Si } Q_J < 10 \\ Et &= -[9 \sin (Q - 100) / 0.395] - 1 && \text{Si } 100 \leq Q_J \leq 242 \\ Et &= -[9 \sin (Q - 244) / 0.682] - 2.5 && \text{Si } Q_J > 242 \end{aligned} \right\} \quad (I.9.b)$$

**I.2. Capteurs solaires :**

Les capteurs solaires sont des appareils permettant la conversion de l'énergie de rayonnement en énergie thermique, en se basant sur l'effet de serre.

**I.2.1. les basses de captation :****I.2.1.1. Corps noir [3]:**

A une Température T tous les corps émettent de l'énergie solaire sous forme de rayonnement. Le corps noir (idéal) est celui qui émet le maximum d'énergie. Les autres corps sont caractérisés à la température T par leur émissivité qui est le rapport de l'énergie émise par corps réel à l'énergie émise par le corps noir à la même température.

**I.2.1.2. Effet de serre :**

C'est un effet provoqué par une paroi transparente (ou translucide) disposée sur une enceinte close. La paroi transparente permet une bonne pénétration du rayonnement solaire mais piège le rayonnement infra -rouge.

**I.2.2. Les principaux composants des capteurs solaires [7]:**

**I.2.2.1. Le couvercle :** C'est une plaque en verre, plexyglace, poly carbonates mais le verre est le plus souvent utilisé.

**I.2.2.2. L'absorbeur:** C'est une plaque noire qui absorbe le rayonnement solaire et le transforme en chaleur thermique; cette plaque doit avoir les caractéristiques suivantes:

- Une bonne conductivité thermique;
- Un facteur d'absorption aussi que possible de l'unité;

Les matériaux utilisés comme absorbeur sont: Les métaux tel que le cuivre, les aciers, l'aluminium et les matières plastique telle que le polyuréthane, le polyphényloxyde mais ces matériaux se caractérisent par de faibles conductivités thermique.

**I.2.2.3. L'isolant :** L'isolant a pour rôle de limiter les déperditions calorifiques.

Les matériaux utilisés comme isolant sont :

- Les isolants non organiques tels que la laine de verre, les cendres de végétaux le bois.
- Les isolants organiques tels que la mousse de polyuréthane.

**I.2.2.4. Le fluide caloporteur:** Le fluide caloporteur est un moyen de transfert de la chaleur collectée par l'absorbeur à un fluide d'échange thermique appelé fluide de travail. Les fluides caloporteurs utilisés sont :

L'air : qui est un fluide gratuit mais il possède une faible capacité calorifique en comparaison avec celle de l'eau peut véhiculer une énergie équivalent à **3000 litres d'air**).

- L'eau qui possède les avantages suivants;
- une grande chaleur massique;
- une faible viscosité;

### I.2.3. Différents types de capteur :

Il existe non seulement plusieurs manières pour fournir l'énergie solaire, mais également différentes méthodes pour capter l'énergie solaire. La liste, ci-dessous, présente quelques types de capteurs solaires les plus répandus qui sont: les capteurs solaires à eau, les capteurs solaires à air et les capteurs solaires sous vide, etc....

#### I.2.3.1. Les capteurs solaires à eau :

Dans ce type de capteurs, On distingue deux formes de systèmes :  
Des systèmes de circulation à basse pression et les systèmes de circulation à haute pression.

- **Les systèmes à base pression** : pour le chauffage industrielle d'eau (système à recirculation) et dans le chauffage domestique concernant certaines régions spécifiques.

Dans les systèmes à basse pression, il suffit d'un film plastique mince. Comme réservoir d'eau. Le plastique doit cependant être suffisamment épais afin de supporter les conditions atmosphériques [8].

- **Les systèmes à haute pression** : le circuit d'eau est généralement constitué de tubes en cuivre, acier ou en aluminium, avec un espacement entre les tubes.

- La surface de l'absorbeur est alors augmentée, d'où on peut collectionner plus de calories que dans le cas précédant [6].

#### I.2.3.2. Les capteurs solaires à air :

Ce type de capteur est très simple, il est constitué d'une couche absorbante à dos isolé, refroidie par un courant d'air circulant entre l'absorbeur et un couvercle de verre.

On utilise un absorbeur poreux afin d'augmenter la surface d'échange et la projection de rayonnement solaire sur la surface de l'absorbeur.

On peut employer, à cet effet, du tissu noir, de la fibre de verre noircie, des écrans à rainures et étires de la laine d'acier ou des assembles en lamelles [8].

#### I.2.3.3. Capteurs sous vide:

Un capteur sous vide est un capteur solaire fait de couvertures transparents, généralement en verre, comportant un espace vide entre ce dernier et l'absorbeur, Ainsi les déperditions thermiques converties de l'absorbeur sont quasiment éliminées et le rendement est meilleur que pour un capteur plan à des températures relativement élevées ( $>60^{\circ}\text{C}$ ).

En contre partie, ils coûtent plus cher par rapport aux capteurs normaux, donc ils ne sont pas généralement préconisés pour les Chauffes – eau solaires fonctionnant à moins de  $60^{\circ}$  pendant la plupart du temps. Ceci dit, quelques  $60.000\text{m}^2$  de capteurs solaires sous vide ont été vendus en Allemagne en 1999 (soit 18 % du total des capteurs vitrés). La plupart sont utilisés pour les chauffe-eau solaires individuels.

La raison principale est esthétique, car c'est un produit, industriel «hi-tech» qui plait et cependant, il faut se méfier quelque fois des vendeurs qui vantent leurs performances, car avec les capteurs sous vide, il y a une grande différence entre la surface «hors tout» et la surface «utile» de l'absorbeur. Dans certains cas c'est un avantage, car les surfaces du capteur et de l'absorbeur peuvent être inclinées différemment.

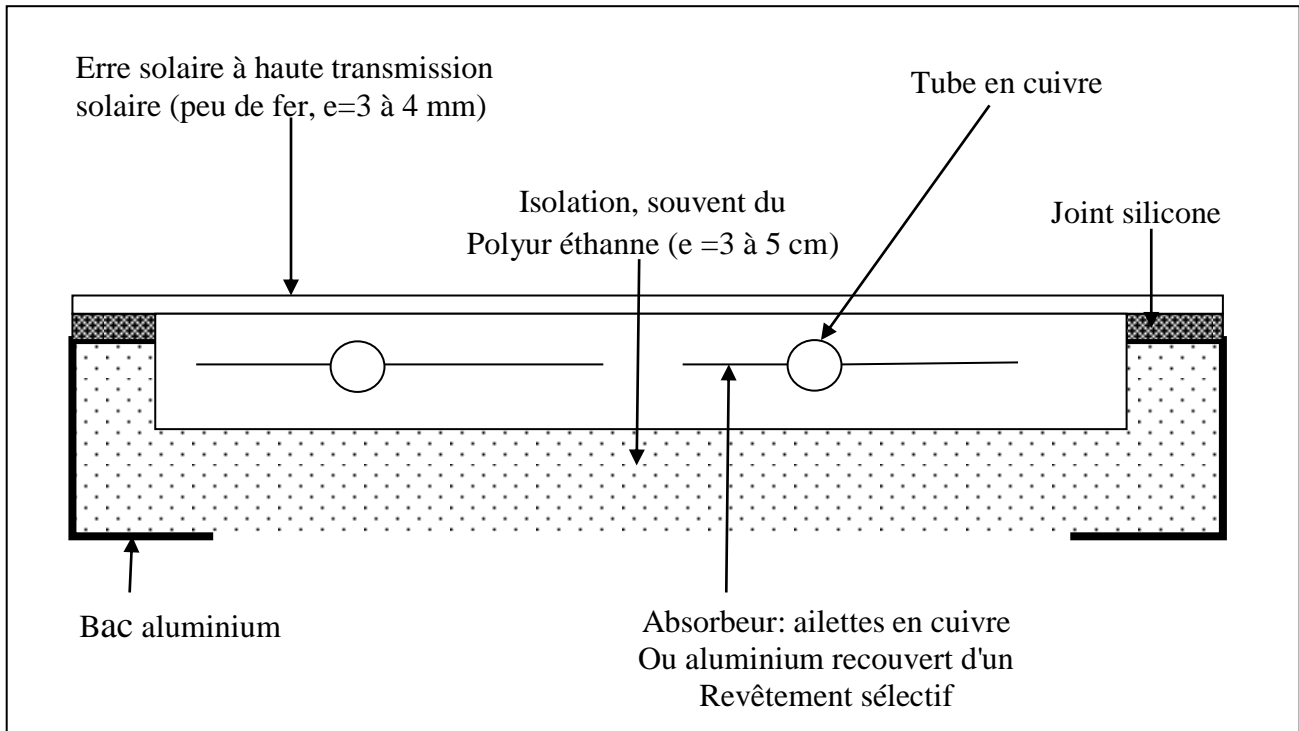


Figure (I.5). Coupe longitudinale de capteur solaire sous-vide.

#### I.2.4. Paramètres et caractéristiques de fonctionnement des capteurs solaires [4,7]:

##### I.2.4.1. Paramètres externes:

Le rayonnement solaire global dépend de la position du soleil et de la durée de l'ensoleillement est fonction de:

- La température ambiante;
- La vitesse du vent sur le capteur;

##### I.2.4.2. Paramètres internes :

- Paramètres de position: l'inclinaison et l'orientation.
- Dimensions du capteur: épaisseur, longueur, largeur et la surface réceptrice.
- La section de passage du fluide caloporteur.

##### I.2.4.3. Paramètres de fonctionnement:

- Le débit du fluide caloporteur;
- Les températures des différentes parties du capteur;
- Le facteur de concentration (cas des concentrateurs);



Chapitre II

# Etude thermique d'un capteur solaire

**II.1. Puissance incidentes : [6.9.10].**

Le Rayonnement solaire global sur un plan horizontal est la somme de rayonnement direct et du rayonnement diffus:

$$I_G = I_{DIR} + I_{DIF} \quad (W/m^2) \quad (II.1)$$

$I_{DIR}$  : représente le rayonnement solaire direct qui à traverser l'atmosphère.

$I_{DIF}$  : représente le rayonnement solaire diffus qui est la somme de deux rayonnement, l'un provenant de voute céleste, et l'autre celui qui est réfléchi sur le sol.

Le rayonnement solaire direct sous incidence normale est IDN où il est défini par l'expression suivante:

$$I_{DN} = A_{exp} \left[ \left( \frac{-P}{P_0} \right) \left( \frac{k}{\cos \theta_z} \right) \right] \quad (W/m^2) \quad (II.2)$$

A : L'intensité de l'éclairement hors de l'atmosphère ou bien la constante solaire rectifiée.

$\theta_z = \frac{\pi}{2} - h$  est la distance zénithale,

$$\cos \theta_z = \sin(h) \quad (II.2.a)$$

$p/p_0$  : est la pression relative dans un lieu donné.

$$\frac{P}{P_0} = \exp[-0.000184 Z] \quad (II.2.b)$$

$$k = \frac{32 \pi^3}{3 N (n-1)^2} \left( \frac{1}{\lambda^4} \right) \quad (II.2.c)$$

Avec :

$\lambda$  : longueur d'onde (dans le spectre visible  $0.4 < \lambda < 0.8 \mu m$ ) ;

K : coefficient d'extinction ;

N : nombre de molécule par unité de volume ;

n : indice de réfraction ;

Les valeurs mensuelles de l'intensité de l'éclairement extraterrestre A et de coefficient d'extinction K sont données par le tableau suivant:

Date	N° de la Journée	Déclinaison	A (w/m <sup>2</sup> )	K (Air masse)	C Sans dimension	Et (minute)
15/01	15	-21.26	1396.16	0.142	0.058	- 9.34
15/02	46	-13.28	1384.36	0.144	0.060	- 14.57
15/03	74	-02.81	1366.064	0.156	0.071	- 9.65
15/04	105	+09.41	1342.530	0.180	0.097	- 0.24
15/05	135	+18.79	1322.464	0.196	0.121	+ 3.75
15/06	166	+23.31	1310.140	0.205	0.134	-0.19
15/07	196	+21.51	1309.551	0.207	0.136	- 5.58
15/08	227	+13.78	1320.823	0.201	0.122	- 4.97
15/09	258	+02.21	1341.042	0.177	0.092	+ 5.49
15/10	288	-09.59	1363.843	0.160	0.073	+ 14.85
15/11	319	-19.14	1384.367	0.149	0.063	+ 14.85
15/12	349	-23.33	1395.966	0.142	0.057	+ 4.17

**Tableau II.1. Valeurs déterminants A et K [10]**

Le flux direct ( $I_D$ ) d'une surface inclinée d'un angle ( $\beta$ ) avec l'horizontal et orientée vers le sud est donné par :

$$I_{Dir} = I_{DN} \cos \beta \quad (\text{II.3})$$

Selon d'autres sources [10] :

$$I_{Dir} = I_0 A C \exp \left[ \left( \frac{-P}{P_0} \right) \left( \frac{-k}{\sinh(h)} \right) \right] = I_0 C I_{DN} \quad (W/m^2) \quad (\text{II.4})$$

$$\theta_Z = \frac{\pi}{2} - h \quad (\text{II.4.a})$$

$$C = \left[ 1 + 0.033 \cos \left( \frac{360 Q_J}{365} \right) \right] \quad (\text{II.4.b})$$

**Avec :**

$I_0$  : constante solaire ;

$I_0 = 1353 \text{ w/m}^2$  ;

$Q_J$  : Numéro du jour dans l'année (**1 an =365j**) ;

H : hauteur du soleil sur l'horizon ;  
 C : coefficient de distance terre-soleil ;  
 Ou bien :

$$I_{DIR} = A \exp\left(\frac{-B}{\sin(h)}\right) \quad (\text{II.5})$$

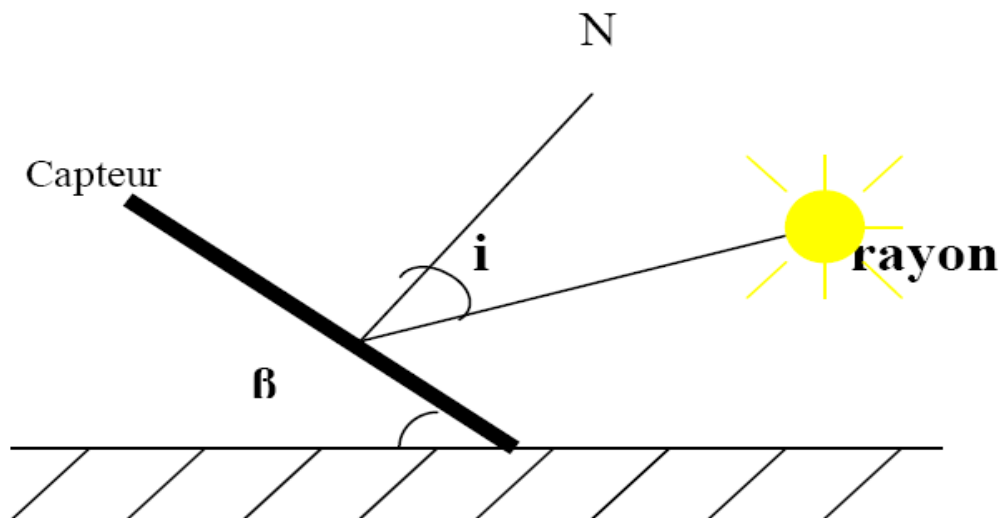
$\sin(h)$  : représente le sinus de la hauteur du soleil ;

Les valeurs de A et B sont tirées à partir du tableau suit :

Désignation	Ciel pur	Conditions normales	Zones industrielles
A	0.87	0.88	0.91
B	0.17	0.26	0.43

**Tableau II.2. Tableau donnant les valeurs des coefficients A et B**

Pour un capteur orienté vers le sud, l'angle d'incidence (Figure II.1) est donné par [8]:



**Figure II.1. L'angle d'incidence du rayonnement solaire sur un plan incliné.**

Pour un capteur orienté vers le sud, l'angle, l'angle d'incidence est donnée par:

$$\cos(i) = \cos(\varphi - \beta) \cos(\delta) \sin(\omega) + \sin(\varphi - \beta) \cos(\delta) \quad (\text{II.6})$$

**Avec:**

$\varphi$  : étant la latitude ;

$i$  : est un angle formé par la direction du rayon solaire et la normale à la surface du capteur ;

$\beta$  : est un angle que fait le plan du capteur avec l'horizontal ;  
Si le capteur n'est pas orienté vers le sud, " $i$ " peut être obtenu à partir de  $h$ ,  $a$  et  $\gamma$  ;

$$\cos(i) = \cos(h) \cos(\psi - \gamma) \sin(i) + \sin(h) \cos(\beta) \quad (\text{II.7})$$

$\gamma$  : étant l'angle que fait le capteur avec la direction du sol ;

### II.1.1. Flux diffus reçu par la surface du capteur solaire [6 et 10]:

Il englobe deux flux :

- L'un émis dans la voûte céleste et qui atteint le capteur.
- L'autre en provenance du sol et est reçu par le capteur.
- Le premier est donné par la relation :

$$I_{dif,c} = I_{dif,h} \left( \frac{1+\cos\beta}{2} \right) \quad (\text{II.8})$$

Avec la supposition de négliger l'albédo des régions limitrophes aux capteurs et distribution uniforme du rayonnement diffus de la voûte céleste.

Et le second par:

$$I_{dif,s} = I_{dif,h} \left( \frac{1+\cos\beta}{2} \right) \left( \frac{1-\cos\beta}{2} \right) (I_{dif,h} \sin(h) + I_{dif,h}) \quad (\text{II.9})$$

$\rho$ : albédo du sol (pris égal à **0.35** pour la région de **OUARGLA**) [11].

Où:

En exprimant le rayonnement diffus en fonction de  $I_{DN}$ , on aura:

$$I_{DIF} = I_{DN} \left[ C \left( \frac{1+\cos\beta}{2} \right) + \rho(\sin(h) + C) \left( \frac{1-\cos\beta}{2} \right) \right] \quad \left( \frac{W}{m^2} \right) \quad (\text{II.10})$$

### II.1.2. Puissance Absorbée:

#### II.1.2.1. Puissance Absorbée par la vitre:

L'atténuation du rayonnement solaire direct, par le couverture provient de la réflexion à L'interface air-vitre et de L'extinction du verre.

La transmittivité est calculée à partir de la loi de Bouguers [11 et 12] en fonction de l'épaisseur du couvert, du coefficient d'extinction et de l'angle d'incidence.

Ces coefficients de transmission et de réflexion du rayonnement solaire à travers le couvert sont donnés en tenant compte des réflexions multiples:

- Pour une onde polarisée parallèlement au plan d'incidence:

$$\rho_p = \frac{tg^2(\theta_1 - \theta_2)}{tg^2(\theta_1 + \theta_2)} \quad (\text{II.11})$$

- Pour une onde polarisée normalement au plan d'incidence:

$$\rho_n = \frac{\sin^2(\theta_1 - \theta_2)}{\sin^2(\theta_1 + \theta_2)} \quad (\text{II.12})$$

- Pour une onde non polarisée on a:

$$\rho = \frac{1}{2}(\rho_n + \rho_p) \quad (\text{II.13})$$

Où :

$\rho$  : coefficient de réflexion de la couverture ;

$\Theta_1$  et  $\Theta_2$ : angle d'incidence et de réfraction (degré) ;

$n_1$  et  $n_2$ : indices de réfraction de l'air et du verre ;

Le coefficient de transmission du couvert  $\tau$  s'exprime comme suit:

$$\tau = \frac{1}{2} EXP \left( \frac{-k_{ev}}{\cos \theta_2} \right) \left[ \frac{1 - \rho_n}{1 + \rho_n} + \frac{1 - \rho_p}{1 + \rho_p} \right] \quad (\text{II.14})$$

Tel que:

$K$  : est le coefficient d'extinction du verre ( $m^{-1}$ ) ;

$e_v$ : est épaisseur de la couverture (m) ;

$\Theta_2$ : angle de réfraction (degré) ;

Le facteur de transmission globale du rayonnement direct est:

$$\tau_{dir} = T_\rho \cdot T_a \quad (\text{II.15})$$

Tel que:

$$T_\rho = \frac{1 - \rho}{1 + \rho} \quad (\text{II.16})$$

$$T_a = EXP \left( \frac{-k_{ev}}{\cos \theta_2} \right) \quad (\text{II.17})$$

$T_p$ : coefficient de transmission dû à la réflexion ;

$T_a$ : coefficient de transmission dû à l'absorption ;

Et le coefficient d'absorption de la couverture pour le rayonnement direct est:

$$\alpha_{v,dir} = 1 - r_{dir} - \tau_{dir} \quad (II.18)$$

De La même manière, on procède pour le rayonnement diffus dont le coefficient ' $\alpha_{v,dif}$ ' calculé avec un angle d'incidence  $\Theta_1=60^\circ$ [6].

$$\alpha_{v,dif} = 1 - r_{dif} - \tau_{dif} \quad (II.19)$$

Nous déduisons la puissance « $P_v$ » absorbée par la vitre :

$$P_v = I_{dir} \alpha_{v,dir} + I_{dif} \alpha_{v,dif} \quad (W/m^2) \quad (II.20)$$

### II.1.2.2. Puissance absorbée par l'absorbeur:

Le coefficient d'absorption de l'absorbeur est  $\alpha_p$ , Ce dernier capte la fraction  $\alpha_p$  de cette puissance transmise et réfléchit vers le vitrage la fraction  $(1 - \alpha_p)$ .

Nous obtenons la puissance  $P_p$  :

$$P_p = \frac{(I_{dir} \cdot \tau_{dir} + I_{dif} \cdot \tau_{dif})}{1 - (1 - \alpha_p) \cdot R_{dif}} \quad (W/m^2) \quad (II.21)$$

Avec :

$R_{dif}$  : est la réflexion ;

$(1 - \alpha_p) \cdot R_{dif}$  : la fraction qui réfléchit vers l'absorbeur ;

## II.2. Echange thermique :

**II.2.1. Echange par conduction :** c'est un phénomène naturel grâce auquel la chaleur traverse la matière par excitation thermique des molécules dans les solides les liquides et les gaz.

Dans notre système, les échanges par conduction existent principalement entre :

- Les deux faces de la vitre  $Q_{cdv}$  ;
- La face supérieure et la face inférieure de l'isolant  $Q_{cdi}$  ;

La quantité thermique de chaleur " $\Phi$ " est proportionnelle au gradient de température et à la surface  $S$  du plan traversé :

$$\phi = -\lambda A \overline{\text{grad} T} \cdot \bar{n} \quad (W/m^2) \quad (II.22)$$

$\lambda$  : la conductivité thermique du milieu ;



grad T : le gradient de température ;

### II.2.2. Echange par convection :

La convection est déplacement de la chaleur au sien d'un fluide par le mouvement de l'ensemble de ses molécules, c'est un mouvement convectif.

Les échanges par convection qui interviennent dans notre cas sont les échanges :

- L'échange entre le vitrage et l'ambiance  $Q_{cva}$ .
- L'échange entre le tube et le fluide  $Q_{cft}$ .
- L'échange entre l'isolant et l'ambiance  $Q_{cia}$

Quel que soit la nature du régime d'écoulement du fluide, quel que soit la convection, libre ou forcée, et laminaire ou turbulent, le flux de chaleur est donné par la loi de Newton comme suite [13 et 14] :

$$\Phi = \bar{h}_c A(T_2 - T_1) \quad (W/m^2) \quad (II.23)$$

$\bar{h}_c$  : la moyen de la coefficient d'échange par convection.

Nous définissons ainsi nombre adimensionnels de Reynolds et Nusselt. Comme suit :

$$Nu = hc \frac{L}{\lambda} \quad (II.24)$$

L : la longueur caractéristique ;

$\lambda$  : la conductivité thermique ;

Pour déterminer le coefficient d'échange entre la vitre et l'ambiance ( $h_w$ ), nous pouvons utiliser la corrélation de Hottel et Woetz :

$$h_w = 5.678 + 3.86 \cdot V_w \quad (II.25)$$

$h_w$  : étant le coefficient de transfert thermique en ( $W/m^2.K$ ) ;

$V_w$  : vitesse du vent ;

L'échange de chaleur entre le tube et l'eau se fait par convection forcée, pour les conduites circulaires (comme dans notre cas), On peut utiliser la corrélation précédant en tenant compte des nombres adimensionnels suivants [6]:

$$Re = \frac{V \cdot D}{\nu} = \frac{\rho \cdot D \cdot V}{\mu} \quad (II.26)$$

Re : nombre de Reynolds ;

$\rho$  : la masse volumique ( $kg/m^3$ ) ;



V : vitesse moyenne du fluide (m/s) ;

D : le diamètre de la conduite (m) ;

$\mu$  : la viscosité cinématique (m<sup>2</sup>/s) ;

### II.2.3. Echange par Rayonnement [13] :

L'énergie rayonnée entre deux corps A et B, dépend de la température de ceux-ci, cette température à la 4<sup>ème</sup> puissance. S'il s'agit de corps noirs, on peut écrire que le flux d'échange correspond à la différence des émittances des deux corps, soit :

$$\Phi = F_{A,B} \sigma A (T_A^4 - T_B^4) \quad (w/m^2) \quad (II.27)$$

$\sigma$  : La constante de Stephan-Boultzman =  $2.67 \cdot 10^{-8} \text{ W/n}^2 \cdot \text{K}^4$ .

S'il s'agit de corps gris, de même émissivité  $\epsilon$ , on peut écrire que :

$$\Phi = F_{A,B} \epsilon \sigma A (T_A^4 - T_B^4) \quad (w/m^2) \quad (II.28)$$

Les échanges thermiques par rayonnement existant principalement :

- Entre le vitrage et voûte céleste :  $Q_{rve}$  ;
- Entre la plaque (l'absorbeur) et la vitre :  $Q_{rpv}$  ;

## II.3 Calcul des pertes de chaleur :

### II.3.1 Pertes par convection entre le vitrage et l'air ambiant :

On a :

$$q_w = A_v h_w (T_{ve} - T_a) \quad (w/m^2) \quad (II.29)$$

$A_v$  : surface du couvert vitré ;

$h_w$  : coefficient de transfert par convection dû à l'effet du vent ;

### II.3.2. Pertes par rayonnement :

#### II.3.2.1. Pertes par rayonnement entre la vitre et la voûte céleste : $Q_{rvc}$

$$Q_{rvc} = A_v h_{rvc} (T_{ve} - T_a) \quad (II.30)$$

$Q_{rvc}$  : surface du couvre vitré ;

$h_{rvc}$  : coefficient d'échange par rayonnement entre la vitre et le ciel et qui est donné par la formule suivante :

$$h_{rvc} = \frac{\varepsilon_1 (T_{ve}^4 - T_c^4)}{(T_{ve} - T_a)} \quad (W/m^2.K) \quad (II.31)$$

$\sigma$  : constante de Stéphan-Boltzman =  $5\,669.10^{-8}$  (W/m<sup>2</sup>k<sup>4</sup>).

$T_{ve}$  : température du vitrage extérieur ;

$T_c$  : température de la voûte céleste en K.

$\varepsilon_1$  : émissivité de la vitre ;

$$T_c = 0.0552 T_a^{1.5} \quad (II.32)$$

### II.2.3.2 Pertes par rayonnement entre le vitrage et l'absorbeur :

$$Q_{rav} = A_a \cdot H_{rav} \cdot (T_p - T_{vi}) \quad (W/m) \quad (II.33)$$

Où :

$h_{rav}$  : représente le coefficient de transfert par rayonnement entre l'absorbeur et le vitrage ;

$A_a$  : représente la surface de l'absorbeur ;

$T_{vi}$  : la température intérieure du vitrage ;

On a :

$$h_{rav} = \frac{\sigma (T_p^2 - T_{vi}^2)(T_p - T_{vi})}{\frac{1}{\varepsilon_2} + \frac{1 - \varepsilon_1}{\varepsilon_1}} \quad (W/m^2.K) \quad (II.34)$$

$\varepsilon_1$  et  $\varepsilon_2$  sont respectivement les émissivités de l'absorbeur et du vitrage ;

$A_v$  : surface du vitrage.

#### II.4. Bilan Energétique du capteur solaire sous vide :

Considérons le volume de contrôle (Figure II.2) en introduisant les échanges thermiques.

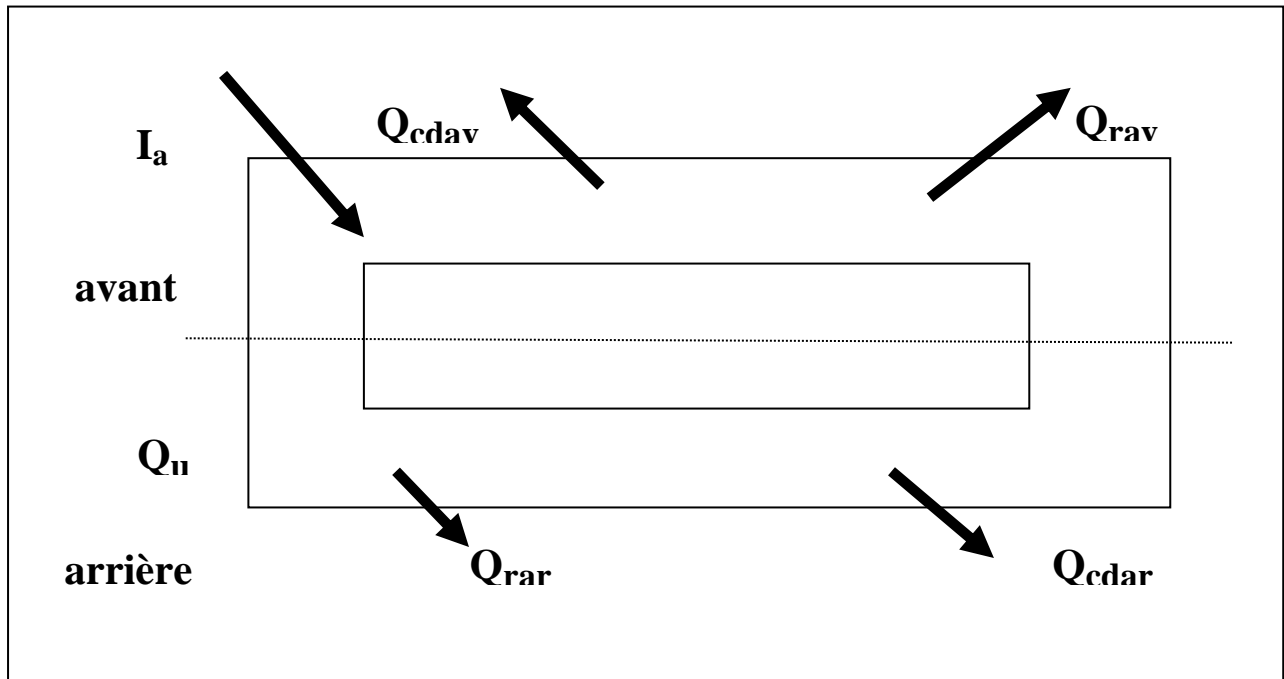


Figure II.2 : Volume de contrôle.

On donne le bilan énergétique par unité de surface du capteur dans cas d'un régime permanent comme suit :

$$P_p = Q_u + Q_p \quad (W/m^2) \quad (II.35)$$

Avec :

- $P_p$  : est la récupération effective de l'énergie incidents par l'absorbeur ;
- $Q_u$  : L'échange de chaleur entre l'absorbeur et le fluide caloporteur à réchauffer ;
- $Q_p$  : L'échange de chaleur entre l'absorbeur et le milieu extérieur ;

$P_p$  : en fonction de la radiation solaire totale incidente sur la surface inclinée du capteur, égale à la somme de radiation directe plus la radiation diffuse ( $I_G$ ).

$$P_p = I_q + (\tau\alpha) I_G \quad (W/m) \quad (II.36)$$

- $\tau\alpha$  : est le coefficient de transmission d'absorption ;
- $I_G$  : est le flux global au niveau du sol, sur un plan incliné ;

### II.4.1. Puissance utile récupérée par le fluide caloporteur :

La puissance utile "Qu" est égale à la puissance absorbée "Qp"

Donc nous pouvons écrire [6] :

$$Q_u = P_p - Q_p = F_R (T_a - U_g(T_{fe} - T_a)) A \quad (W/m^2) \quad (II.37)$$

Avec :

$T_{fe}$  : Température d'entrée du fluide caloporteur ;

$T_a$  : Température ambiante ;

$F_R$  : Facteur de rendement de chaleur extraite défini par le facteur d'efficacité global et le facteur de collecteur ;

### II.4.2. Calcul du Facteur d'efficacité global $F_R$ :

$$F_R = \frac{\text{Taux de chaleur extraite}}{\text{Taux de chaleur extrait de tout la surface de la plaque}}$$

Comme il est égale à :

$$F_R = \frac{\dot{m}C_p}{T_G - T_a} \left[ 1 - \text{EXP} \frac{F' U_g A_c}{\dot{m}C_p} \right] \quad (II.38)$$

$\dot{m}$  : Débit massique total du fluide (Kg/s) ;

$C_p$  : Chaleur massique du fluide en (J/Kg.K°) ;

$F'$  : Facteur d'efficacité de chaleur ;

$I_a$  : étant la radiation solaire absorbée par le capteur ;

### II.4.3. Calcul du facteur de la surface collection du capteur $F'$ :

Deux cas présentent pour le calcul de  $F'$  :

1/ cas de tubes sous la plaque [8] :

$$F' = \frac{\frac{1}{U_g}}{w \left[ \frac{1}{U_g(2LF+De)} F + \frac{1}{h_{ctf} \pi D_i} + \frac{D_s D_e}{b \lambda_s} \right]} \quad (II.40)$$

Où :

$e_s$  : étant l'épaisseur de la soudure, exprimée en (m) ;

$b$  : la largeur de la soudure en (m) ;

$\lambda_s$  : la conductivité thermique de la soudure en (W/K) ;

W : la distance entre les tubes (m) ;  
 $h_{vtf}$  : le coefficient de transfert convectif entre le fluide et le paroi ;  
 $D_e$  : le diamètre extérieur du tube (m) ;  
 $D_i$  : le diamètre intérieur du tube (m) ;

D'où :

$$L = \frac{(W - D_e)}{2}$$

**2/ cas de tubes intégrés dans la plaque :**

$$F' = \frac{1}{\frac{W \cdot U_g}{\pi \cdot D_i \cdot h_{vtf}}} + \frac{W}{D_e + 2LF} \quad (\text{II.41})$$

**II.4.4. Calcul de facteur de rendement de l'ailette "F" :**

$$F = \frac{\tan h.K}{KL} \quad (\text{II.42})$$

Où :

$$K = \sqrt{\frac{U_g}{\lambda \cdot e_p}}$$

Avec :

$\lambda$  : étant la conductivité thermique de la plaque (W/mk).  
 $e_p$  : l'épaisseur de l'absorbeur (m).

Notre réseau thermique est relatif à un capteur ayant une seule vitre comme couverture, où les pertes thermiques à partir de la plaque chauffante, considérée à la température uniforme  $T_p$ , sont [5] :

$$Q_p = Ac(U_{arr} + U_{lat})(T_{fe} - T_p) = Ac \cdot U_g(T_{fe} - T_p) \quad (\text{II.43})$$

Ac : la surface du capteur ;

Les pertes par le fond (pertes arrière) du capteur sont dues à la conduction par l'isolation arrière, le coefficient des pertes arrière par unité de surface s'écrit :

$$U_{arr} = \frac{\lambda_i}{e_i} \quad (\text{II.44})$$

$\lambda_i$  : conductivité thermique de l'isolant ;

$e_i$  : épaisseur de l'isolant ;

Pratiquement, la relation des pertes latérales par unité de surface est :

$$U_{lat} = \frac{\lambda_{i,lat} \cdot e_b \cdot P_b}{e_{lat} \cdot A_c} \quad (\text{II.45})$$

$\lambda_{i,a}$  : la conductivité thermique de l'isolant latéral ;

$e_b$  : l'épaisseur du boîtier ;

$P_b$  : l'épaisseur du boîtier ;

$e_{lat}$  : l'épaisseur de l'isolant latéral ;

Les pertes « avant » sont dues à l'échanges radiatifs entre la surface d'absorption et la face inférieure de la couverture ;

Le coefficient des pertes avant est donc :

$$U_{av} = \frac{1}{R_i + R_e} \quad (\text{II.46})$$

$R_e$  : la résistance extérieure du transfert radiatif et convectif entre la surface extérieure du verre et l'environnement ;

$$R_e = \frac{1}{h_{cva} + h_{rvc}} \quad (\text{II.47})$$

Finalement nous arrivons à :

$$U_{av} = \left[ \frac{1}{h_{cva} + h_{rvc}} + \frac{1}{h_{rpv}} \right] \quad (\text{II.48})$$

Alors :

$$U_g = U_{av} + U_{arr} + U_{lat}$$

#### II.4.5. Rendement instantané :

Le rendement du capteur solaire se calcul comme suite :

$$\eta = \frac{Q_u}{S} \quad (\text{II.49})$$

$Q_u$  : puissance utile du capteur ;

$S$  : la puissance de radiation solaire relative à la région d'Ouargla,

D' où :

$$S = I_G \cdot A_c \quad (\text{II.50})$$

Nous déduisons les expressions du rendement global du capteur «  $\eta$  » comme suit [5] :

$$\eta = F_R \cdot \left[ (\tau\alpha) - U_g \frac{(T_{fe} - T_a)}{I_G} \right] \quad (\text{II.51})$$

Comme nous pouvons aussi définir un autre rendement optique [15] :

$$\eta_0 = \frac{I_{ab}}{I_G} \quad (\text{II.52})$$

$I_{ab}$  : le rayonnement absorbé est donné par :

$$I_{ab} = I(\tau\alpha)_1 + d_{ciel}(\tau\alpha)_2 + d_{sol}(\tau\alpha)_3 \quad (\text{II.53})$$

Où :

$(\tau\alpha)$  : représente le facteur de transmission-absorption du capteur ;

Les indices :

1 : pour le rayonnement direct, venant directement du soleil (I) ;

2 : pour le rayonnement diffus, provenant du ciel (d ciel) ;

3 : pour le rayonnement diffus, provenant du sol (d sol) ;

Le rendement instantané est défini comme le rapport de la puissance utile récupérée par le fluide caloporteur à la puissance incident sur le plan du capteur.

Et le volume de contrôle nous permet de tirer l'expression de la puissance utile  $Q_u$ .

Donc :

$$\eta = \frac{Q_u}{A_c \cdot I_G} \quad (\text{II.54})$$

## Chapitre III

# Etude de système de climatisation



### III.1. Climatisation solaire [6,7] :

La climatisation est une application solaire les plus évidentes puisque les besoins les plus importants coïncident avec la période la plus ensoleillée de l'année.

Ce domaine d'application a connu de nombreuses évolutions récentes avec l'installation de systèmes de climatisation solaires dans des bâtiments à vocation hôtelière. Ils utilisent la chaleur produite à haute température grâce à des capteurs plans à haut rendement ou des capteurs sous vide pour alimenter une machine frigorifique à absorption. Bien qu'elle est peu répandue, la climatisation solaire représente un potentiel de développement de grande importance.

### III.2. Capteurs utilisés:

Généralement les capteurs solaires utilisés pour les conditionneurs d'air sont de type plan à circulation d'eau.

Cependant, on prévoit d'utiliser de nouveau capteurs sous vides comportant des surfaces sélectives.

Pratiquement, les capteurs à circulation d'air sont plus utilisés dans la réfrigération solaire et nécessitent des surfaces d'échange trop importantes pour des raisons économiques [15].

### III.3. Les machines frigorifiques:

Plusieurs cycles de thermodynamiques fermes fonctionnant avec fluides frigorigènes sont utilisés dans la climatisation.

Actuellement, il y a deux cycles adaptés à la climatisation solaire : cycle de refroidissement par compression mécanique de la vapeur et cycle de refroidissement à absorption.

#### III.3.1. Cycle de refroidissement par compression mécanique:[16]

##### III.3.1.1. Cycle de Carnot :

C'est un cycle dont la performance peut être augmentée quand on opère entre deux températures donnée (**figure III.1**).

Les transformations qui constituent le cycle de Carnot en réfrigérateur sont :

- 1.2 Compression adiabatique (isentropique).
- 2.3 Rejet isotherme de chaleur.
- 3.4 Expansion adiabatique (isentropique).
- 4.1 Absorption isotherme de chaleur.

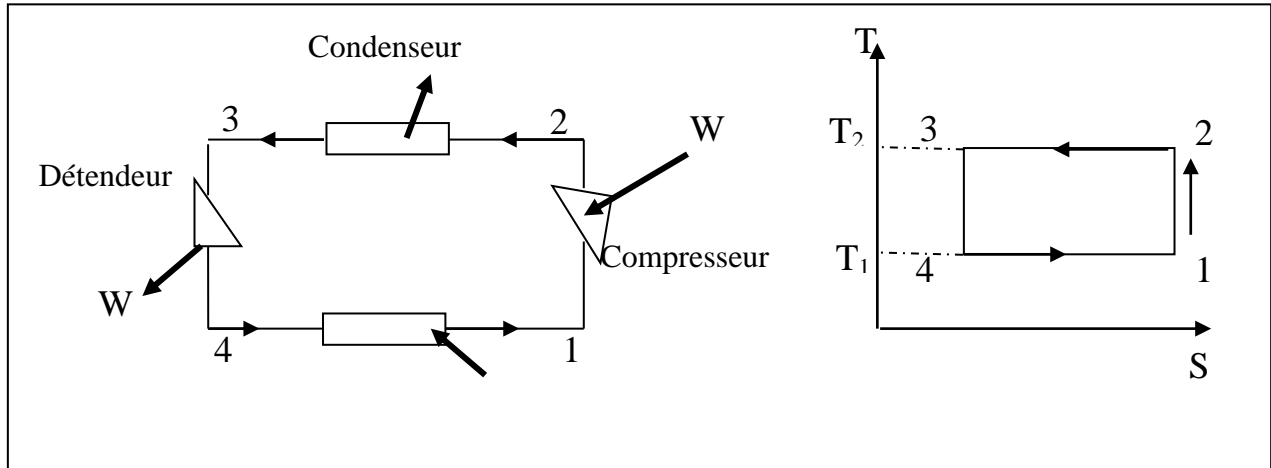


Figure III.1. Cycle de Carnot en de réfrigération

Dans le cycle de Carnot la performance du cycle est toujours plus élevée que celle obtenue par un cycle réel (ou pratique) qui est un cycle idéal.

### III.3.1.2. Coefficient de performance "COP"[17,18]:

On définit ce coefficient COP par : le rapport de la réfrigération utile sur le travail net ;

On calcule un COP élevé car il indique qu'une quantité de froid produite nécessite une faible quantité de travail.

Le COP du cycle de Carnot peut être donné par la relation suivante [7]:

$$COP = \frac{T_i}{(T_2 - T_1)} \quad (III.1)$$

Avec :

$T_1$  : basse température en K ;

$T_2$  : haut température en K ;

Dans la pratique, il y a des changements concernant les transformations 1-2 et 3-4 du cycle de Carnot. La compression 1-2 est appelée compression humide dans le cycle de Carnot parce que toute la transformation a lieu dans la région mixte. La compression humide peut endommager le compresseur, d'où il est préférable d'utiliser une compression sèche et de changer la transformation 3-4. Pour des raisons pratiques, on n'utilise pas une turbine pour l'expansion du fluide frigorigère, mais on adapte une régulation du fluide frigorigène, par exemple par le biais de la vanne, ou d'une estrieur, etc. Peut réduire la pression de l'état 3 à l'état 4 dans le processus qui est isenthalpique et irréversible d'où on obtient un cycle standard à compression mécanique simple (**figure III.2**).

Ce cycle représente toutefois, une installation mono étagée (à un seul étage) de compression (**figure III.3**).

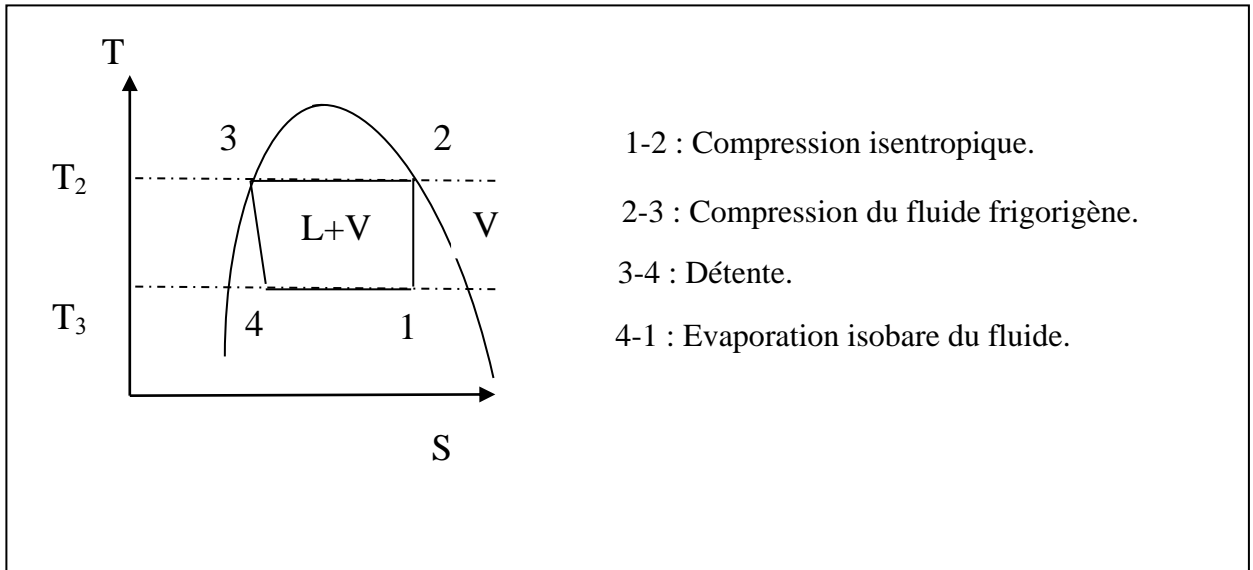


Figure III.2. Cycle frigorifique de Carnot avec un fluide frigorifique.

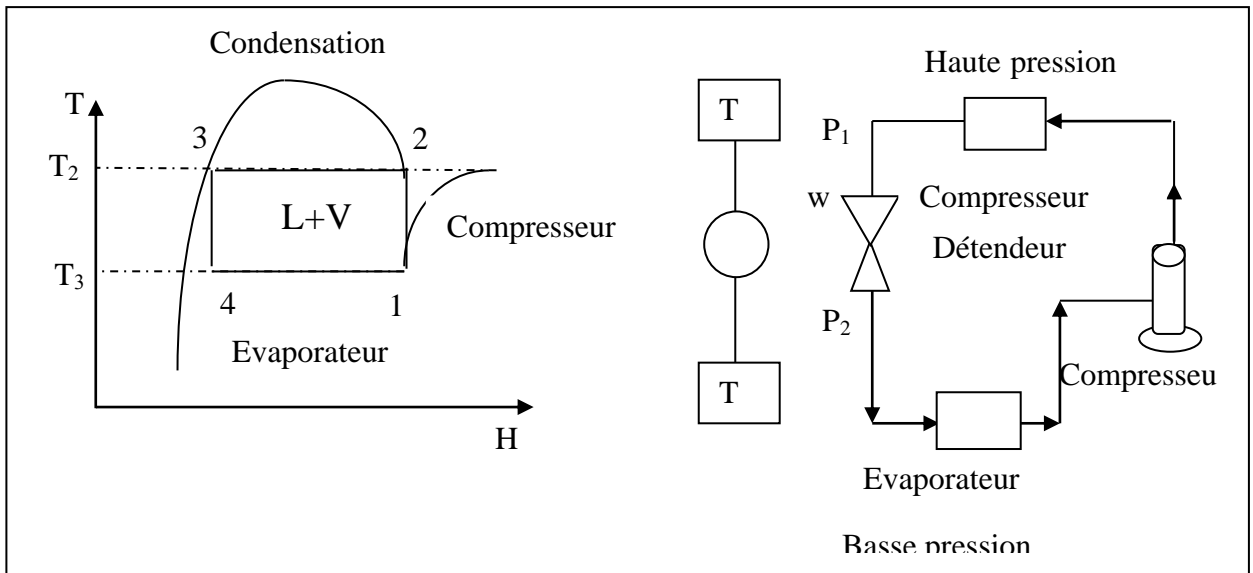


Figure III.3. Cycle standard à compression mécanique simple

**III.3.1.3 Calcul thermodynamique d'une installation frigorifique à compression mécanique simple :**

Le calcul se peut par :

a/ Le calcul de la puissance frigorifique massique :

b/ Le calcul de débit massique du fluide frigorigène :

$$Q_m = \frac{\phi_0}{q_{om}} \tag{III.2}$$

$\Phi_0$  : la puissance frigorifique ;

c/ Le calcul de la puissance théorique consommée par le compresseur :

$$P_t = Q_m - W_m \quad (\text{III.3})$$

$W_m$ / Le travail massique fourni au système en (KJ/Kg).

$$W_m = H_2 - H_3 \quad (\text{III.4})$$

d/ Le calcul de la puissance thermique du condenseur :

$$Q_c = Q_m (H_2 - H_2) \quad (\text{III.5})$$

e/ Le calcul du coefficient de performance de l'installation :

$$COP = \frac{q_{om}}{W_m} \quad (\text{III.6})$$

#### III.3.1.4. Fluides frigorigènes utilisés :

Généralement les fluides frigorigènes les plus utilisés sont utilisés sont les hydrocarbures halogénés (CFC) :

Ces fluides sont également connus par leur marque commerciale qui est le FREON.

Comme on utilise d'autres fluides tels que :

- Les fluides inorganiques : la plupart des fluides frigorigènes qui ont été utilisés par le passé sont des fluides inorganiques, certains de ces fluides sont encore en service tels que :  $\text{NH}_3$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ .
- Les fluides hydrocarbures : sont utilisés dans la pétrochimie tels que :  $(\text{CH}_4)$ ,  $(\text{C}_2\text{H}_4)$ .

#### III.3.2. Cycle de refroidissement à absorption :

Le cycle frigorifique à absorption est similaire en partie au cycle frigorifique compression mécanique c'est-à-dire qu'il utilise aussi un condenseur, un évaporateur et un détendeur. Cependant pour transformer le fluide frigorigène de vapeur à basses pressions, venant de l'évaporateur à haute pression, fournie au condenseur, on utilise un compresseur mécanique pour le cycle à compression mécanique et un compresseur thermique pour le cycle à absorption [19].

Les machines frigorifique à absorption utilisent, du fait que les solutions binaires absorbent les vapeurs, d'autres solutions et cela dans des limites de températures bien définies.

On appelle alors absorption, la fixation d'une substance par tout le volume de la matière absorbante.

Nous savons que la vapeur d'un corps ne peut être absorbée par le même corps, à l'état liquide, que dans le cas où la température du liquide est inférieure à celle de la vapeur, à la



## Chapitre IV

# Résolution mathématique du système

### IV.1. Hypothèses simplificatrices :

Il est nécessaire de faire certaines hypothèses afin d'avoir une simulation approchée du système :

- La température ambiante autour du capteur est uniforme et constante.
- La température de tous les éléments du capteur est uniforme.
- La température du ciel est uniforme.
- Le sol et la voûte céleste se comportent comme des corps noirs.
- Le couvert est opaque aux rayons infrarouges.
- Les propriétés physiques des matériaux sont supposées constantes.
- L'effet d'ombre est négligé.

### IV.2. Modélisation :

#### IV.2.1. Modélisation du capteur à eau :

Généralement, il s'agit la densité de flux thermique échange entre deux surfaces l'une portée à la température  $T_1$  et l'autre à la température  $T_2$ , est donnée par la relation suivante :

$$\Phi = h_c (T_2 - T_1) \quad (\text{W/m}^2) \quad (\text{IV.1})$$

Par la loi d'OHM en électricité on écrit cette équation comme suit :

$$E_2 - E_1 = R_{\text{eq}} I \quad (\text{IV.2})$$

$E_1$  et  $E_2$  : Sont les potentiels électriques aux points 1 et 2 du circuit.  $R_{\text{eq}}$  : la résistance aux transferts de charges électriques entre les points 1 et 2 ;

$I$  : l'intensité du courant ;

#### I.2.2. Echange thermique :

La (Figure IV.2), illustre qualitativement les échanges thermiques au sein d'un capteur sous-vide.

### IV.3. Description des équations du système :

En appliquant la loi d'OHM au nœud « i » d'une maille à l'instant « t »

Nous obtenons [6] :

$$\frac{M_i}{A_i} C_{p_i} \frac{\partial T_i}{\partial t} = \sum_{j \in N} h_{ij} (T_j - T_i) + P_i \quad (\text{IV.1})$$

$M_i$  : masse du lieu « i » du système ;

$C_{p_i}$  : chaleur spécifique ;

$A_i$  : la section ;

$N$  : ensemble des nœuds «  $j$  » pour les quels «  $T_j$  » est un potentiel connecté à «  $T_i$  » ;

$P_i$  : facteur du puit ou de la source ;

$T$  : le temps.

$T_i$  : Température au nœud «  $i$  » ;

#### I.4. Schéma électrique équivalent :

Nous définissons :

$h_{cva}$  : coefficient d'échange thermique par convection vitre-ambiance ;

$h_{rvc}$  : coefficient d'échange thermique par rayonnement vitre-ciel ;

$h_{cdv}$  : coefficient d'échange thermique par convection vitre face externe-face interne ;

$h_{rpv}$  : coefficient d'échange thermique par rayonnement plaque-vitre ;

$h_{cdpt}$  : coefficient d'échange thermique par convection plaque-tube ;

$h_{cpf}$  : coefficient d'échange thermique par convection plaque-fluide ;

$h_{cft}$  : coefficient d'échange thermique par convection fluide-tube ;

$h_{cdi}$  : coefficient d'échange thermique par convection de l'isolant face intérieure-face extérieure;

$h_{ris}$  : coefficient d'échange thermique par rayonnement isolant-sol ;

$h_{cia}$  : coefficient d'échange thermique par convection de l'isolant-ambiance ;

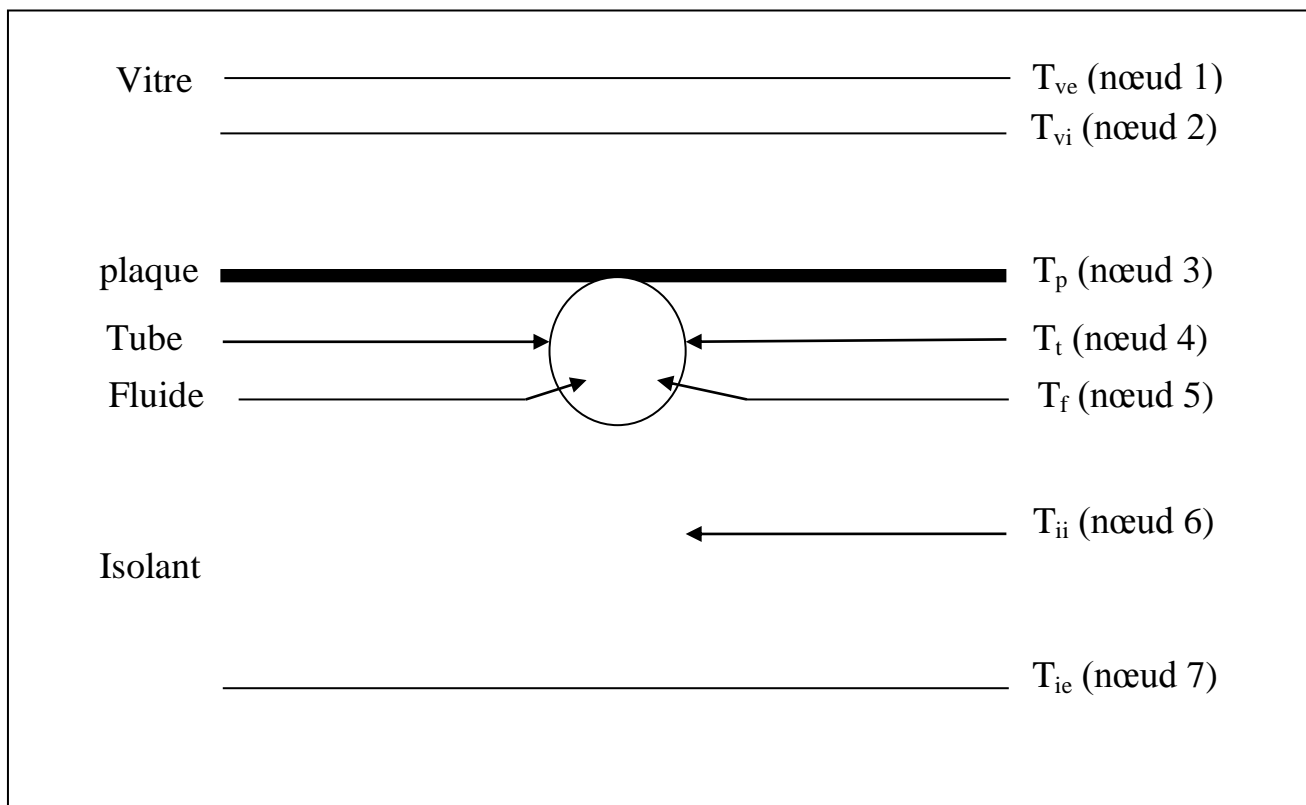


Figure IV.1. Les différences nœuds considérés dans la maille



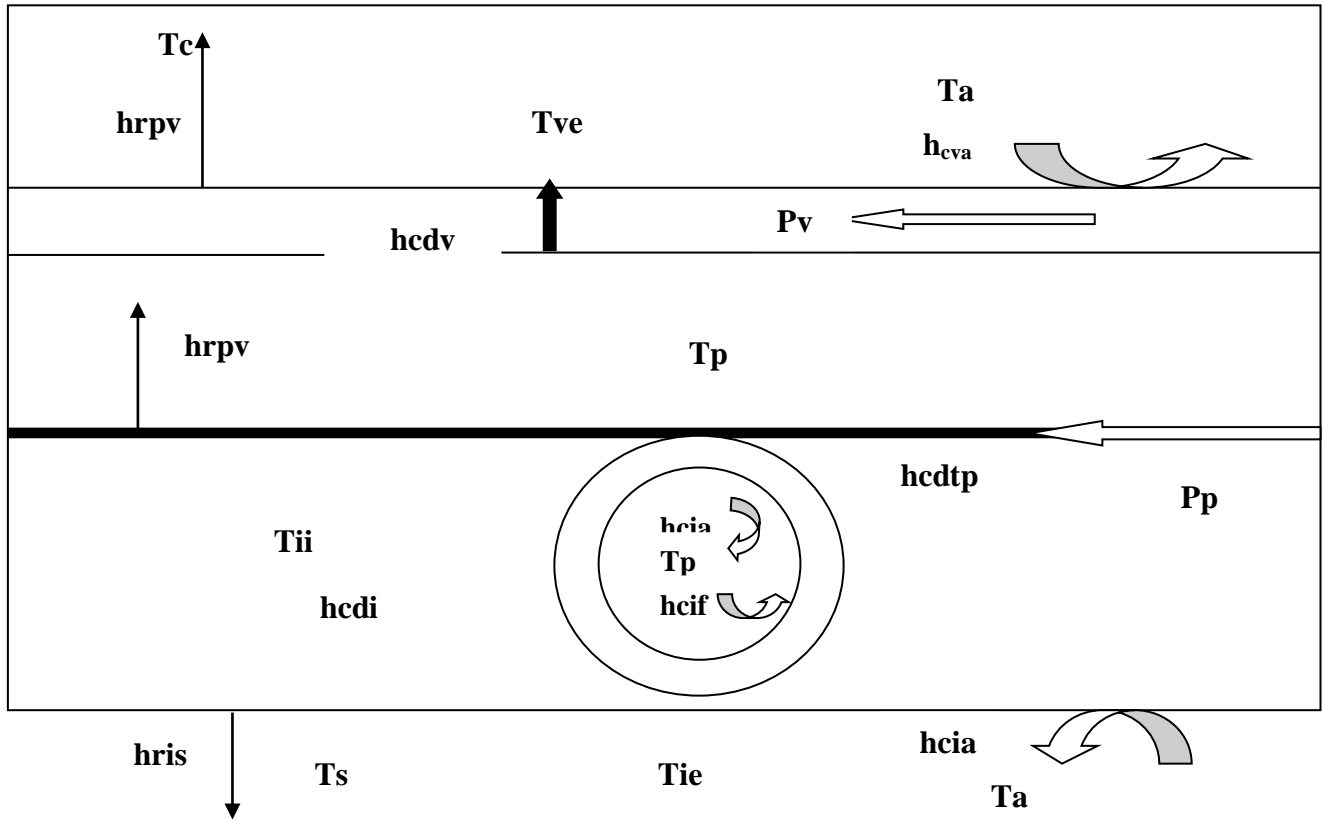


Figure IV.2. Schéma des échanges thermiques au niveau d'une aille.

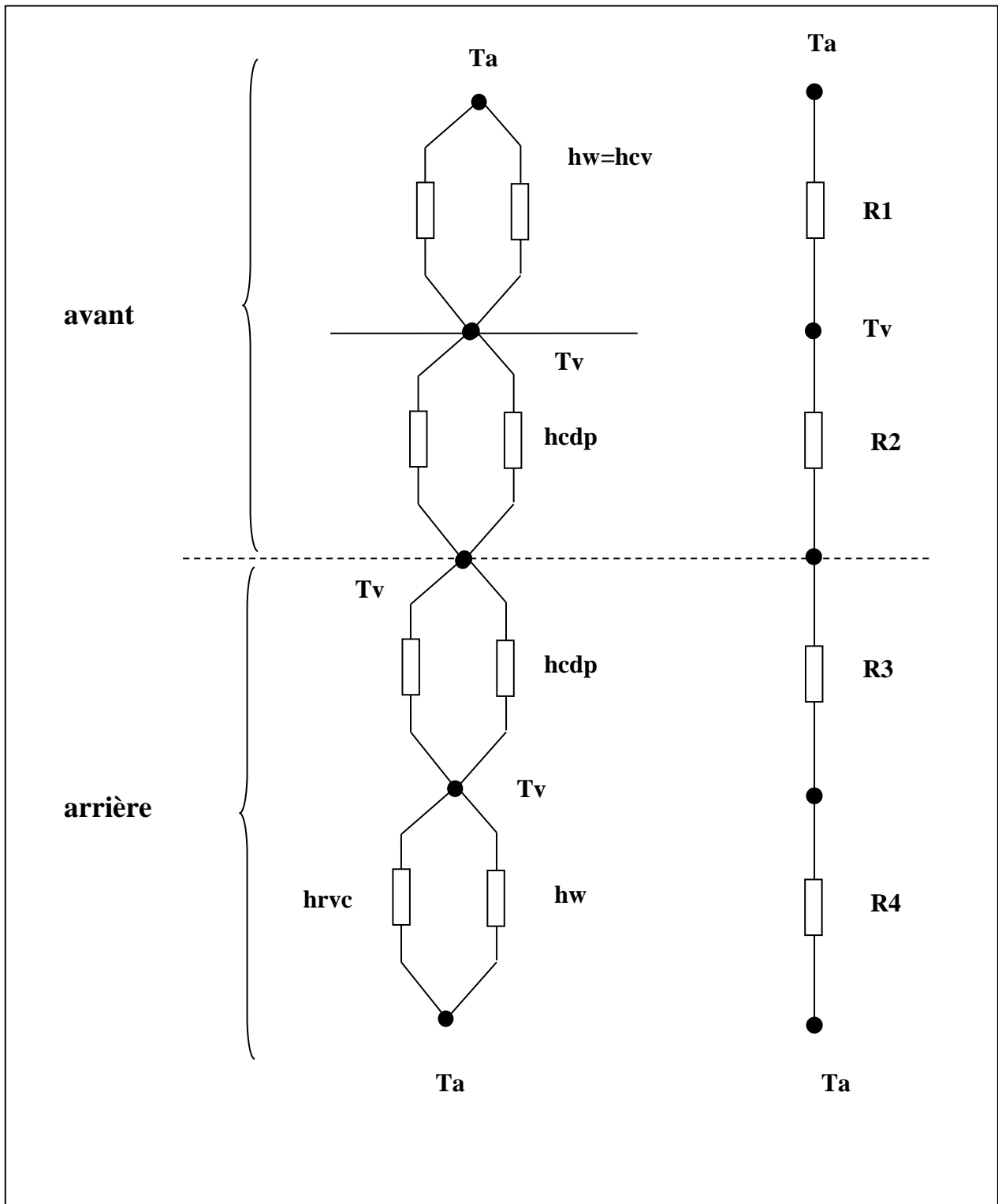


Figure IV.3. Schéma électrique équivalent

**IV.5. Mise en équations du système :**

Selon le schéma électrique montré dans la figure ci-dessus et on appliquant la loi d'OHM au nœud de la maille, nous obtenons les équations suivantes :

**La face extérieure de la vitre :**

$$\frac{M_v C_{pv}}{A_v} \left( \frac{dT_{ve}}{dt} \right) = P_v + h_{rv} (T_c - T_{ve}) (T_a - T_{ve}) + h_{cve} (T_a - T_{ve})$$

**La face intérieure de la vitre :**

$$\frac{M_v C_{pv}}{A_v} \left( \frac{dT_{vi}}{dt} \right) = P_v + h_{cdv} (T_{ve} - T_{vi}) + h_{rpv} (T_a - T_{ve})$$

**L'absorbeur :**

$$\frac{M_p C_{pp}}{A_p} \left( \frac{dT_p}{dt} \right) = P_p + h_{rpv} (T_{vi} - T_p) + \frac{A_{pt}}{A_p} h_{cdpt} (T_t - T_p)$$

**Le fluide caloporteur (eau) :**

$$G \frac{M_p C_{pt}}{A_f} (T_f - T_f^*) = \frac{A_f}{A_t} h_{cdp} (T_{ti} - T_f)$$

**L'isolant, face intérieur :**

$$\frac{M_i C_{pi}}{A_i} \left( \frac{dT_{ii}}{dt} \right) = \frac{A_t}{A_i} h_{cif} (T_f - T_{ii}) + h_{cdi} (T_{ie} - T_{ii})$$

**L'isolant, face extérieur :**

$$\frac{M_i C_{pi}}{A_i} \left( \frac{dT_{ie}}{dt} \right) = h_{cdi} (T_{ii} - T_{ie}) + h_{ris} (T_s - T_{ie}) + h_{cia} (T_a - T_{ie})$$

Où :

$$A_v = A_p = A_i$$

$A_t$  : Surface du tube ;

$A_f$  : Surface de contact tube-fluide ( $m^2$ ) ;

$A_{pt}$  : Surface de la jonction tube-plaque ( $m^2$ ) ;

$A_{if}$  : Surface fictive d'écoulement d'eau sur l'isolant ( $m^2$ ) ;

$T_f^*$  = température du fluide de la tranche précédent ;

$$A_f = \pi D_i \cdot l ; A_t = N \cdot \pi \cdot D_e \cdot l ; A_{if} = N \cdot D_i \cdot l ; A_{pt} = N \frac{\pi}{2} D_e \cdot l ;$$

$P_v$  : La puissance absorbée par la vitre ;

$P_p$  : La puissance absorbée par le ceps noir ;

#### IV.6 Discrétisation des équations :

$$\frac{M_i C_{pi}}{A_i} \frac{\partial T_i}{\partial t} = \sum_{j \in N} h_{ij} (T_j - T_i) + P_i$$

**Nœud 1 :**

$$\frac{M_v C_{pv}}{A_v} (T_{Ve}^t(j) - T_{Ve}^{t-\Delta t}(j)) = P_v h_{rvc} (T_c - T_{Ve}^t(j)) + h_{cva} (T_a - T_{Ve}^t(j)) + h_{cdv} (T_{Vi}^t(j) - T_{Ve}^t(j))$$

**Nœud 2 :**

$$\frac{M_v C_{pv}}{A_v} (T_{Vi}^t(j) - T_{Vi}^{t-\Delta t}(j)) = P_v h_{cdv} (T_{Ve}^t(j) - T_{Vi}^t(j)) + h_{rvp} (T_p^t(j) - T_{Vi}^t(j))$$

**Nœud 3 :**

$$\frac{M_p C_{pp}}{A_p} (T_p^t(j) - T_p^{t-\Delta t}(j)) = P_p h_{rvp} (T_{Vi}^t(j) - T_p^t(j)) + \frac{A_{pt}}{A_p} h_{cdpt} (T_t^t(j) - T_p^t(j))$$

**Nœud 4 :**

$$\frac{M_t C_{pt}}{A_t} (T_t^t(j) - T_t^{t-\Delta t}(j)) = \frac{A_{pt}}{A_p} h_{cdpt} (T_p^t(j) - T_t^t(j)) + \frac{A_f}{A_t} h_{cft} (T_f^t(j) - T_t^t(j))$$

**Nœud 5 :**

$$G \frac{C_{pf}}{A_f} (T_f^t(j) - T_f^t(j-1)) = \frac{A_f}{A_t} h_{cft} (T_t^t(j) - T_f^t(j))$$

**Nœud 6 :**

$$\frac{M_i C_{pi}}{A_i} (T_{ii}^t(j) - T_{ii}^{t-\Delta t}(j)) = \frac{A_{if}}{A_i} h_{cit} (T_f^t(j) - T_{ii}^t(j)) + h_{cdr} (T_{ie}^t(j) - T_{ii}^t(j))$$

**Nœud 7 :**

$$M_i C_{pi} (T_{ie}^t(j) - T_{ie}^{t-\Delta t}(j)) = h_{cdr} (T_{ii}^t(j) - T_{ie}^t(j)) + h_{ris} (T_s^t(j) - T_{ie}^t(j)) + h_{cia} (T_a^t(j) - T_{ie}^t(j))$$

C'est un système d'équation de sept inconnus, donc nous déduisons la matrice  $A(7,7)$  et le vecteur  $B(7)$

$$A \cdot T = B$$

Alors :

Nous aboutirons au système matriciel suivant :

$$\begin{pmatrix}
 a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} & a_{15} & a_{16} & a_{17} \\
 a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} & a_{25} & a_{26} & a_{27} \\
 a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} & a_{35} & a_{36} & a_{37} \\
 a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} & a_{45} & a_{46} & a_{47} \\
 a_{51} & a_{52} & a_{53} & a_{54} & a_{55} & a_{56} & a_{57} \\
 a_{61} & a_{62} & a_{63} & a_{64} & a_{65} & a_{66} & a_{67} \\
 a_{71} & a_{72} & a_{73} & a_{74} & a_{75} & a_{76} & a_{77}
 \end{pmatrix}
 \begin{pmatrix}
 T'_{ve}(j) \\
 T'_{vi}(j) \\
 T'_p(j) \\
 T'_t(j) \\
 T'_f(j) \\
 T'_{ii}(j) \\
 T'_{ie}(j)
 \end{pmatrix}
 =
 \begin{pmatrix}
 B1 \\
 B2 \\
 B3 \\
 B4 \\
 B5 \\
 B6 \\
 B7
 \end{pmatrix}$$

$$a_{11} = M_v \frac{C_{PV}}{A_v \Delta t} = h_{rvv} + h_{cva} + h_{cdv}$$

$$a_{12} = h_{cdv}$$

$$a_{13} = 0, \quad a_{14} = 0, \quad a_{15} = 0, \quad a_{16} = 0, \quad a_{17} = 0,$$

$$a_{21} = a_{12} = +h_{cdv}$$

$$a_{22} = M_v \frac{C_{PV}}{A_v \Delta t} = h_{cdv} + h_{rpv}$$

$$a_{23} = -h_{rpv}$$

$$a_{24} = 0, \quad a_{25} = 0, \quad a_{26} = 0, \quad a_{27} = 0, \quad a_{31} = 0,$$

$$a_{32} = -a_{23} = +h_{rpv}$$

$$a_{33} = \frac{P_p C_{PP}}{A_p \Delta t} + h_{rpv} + \frac{A_{Pt}}{A_p} h_{cdPt}$$

$$a_{34} = \frac{A_{Pt}}{A_p} h_{cdPt}$$

$$a_{35} = 0, \quad a_{36} = 0, \quad a_{37} = 0, \quad a_{41} = 0, \quad a_{42} = 0$$

$$a_{43} = -a_{34} = -\frac{A_{Pt}}{A_p} h_{cdPt}$$

$$a_{45} = -\frac{A_f}{A_t} h_{cft}$$

$$a_{46} = 0, \quad a_{47} = 0, \quad a_{51} = 0, \quad a_{52} = 0, \quad a_{53} = 0$$

$$a_{54} = a_{45} = -\frac{A_f}{A_t} h_{cft}$$

$$a_{55} = G \frac{C_{Pf}}{A_f} + h_{cft}$$

$$a_{56} = -\frac{A_{if}}{A_i} h_{cif}$$

$$a_{57} = 0, \quad a_{61} = 0, \quad a_{62} = 0, \quad a_{63} = 0, \quad a_{64} = 0$$

$$a_{65} = a_{56} = -\frac{A_f}{A_t} h_{cft}$$

$$a_{66} = M_i \frac{C_{Pi}}{A_i \Delta t} + h_{cdi} + \frac{A_{if}}{A_i} h_{cif}$$

$$a_{67} = 0, \quad a_{71} = 0, \quad a_{72} = 0, \quad a_{73} = 0, \quad a_{74} = 0, \quad a_{75} = 0, \quad a_{76} = 0$$

$$a_{77} = M_i \frac{C_{Pi}}{A_i \Delta t} + h_{cdi} + h_{cia}$$

$$B_1 = \frac{M_v C_{PV}}{A_v \Delta t} T_{Ve}^0 + h_{rvc} \cdot T_C + h_{cva} \cdot T_a + P_v$$

$$B_2 = \frac{M_v C_{PV}}{A_v \Delta t} T_{Vi}^0 + P_v$$

$$B_3 = \frac{M_v C_{PV}}{A_v \Delta t} T_P^0 + P_P$$

$$B_4 = \frac{M_t C_{Pt}}{A_t \Delta t} T_t^0$$

$$B_5 = G \frac{C_{Pf}}{A_f} T_f^0 (j - 1)$$

$$B_6 = \frac{M_i C_{Pi}}{A_i \Delta t} T_{ii}^0$$

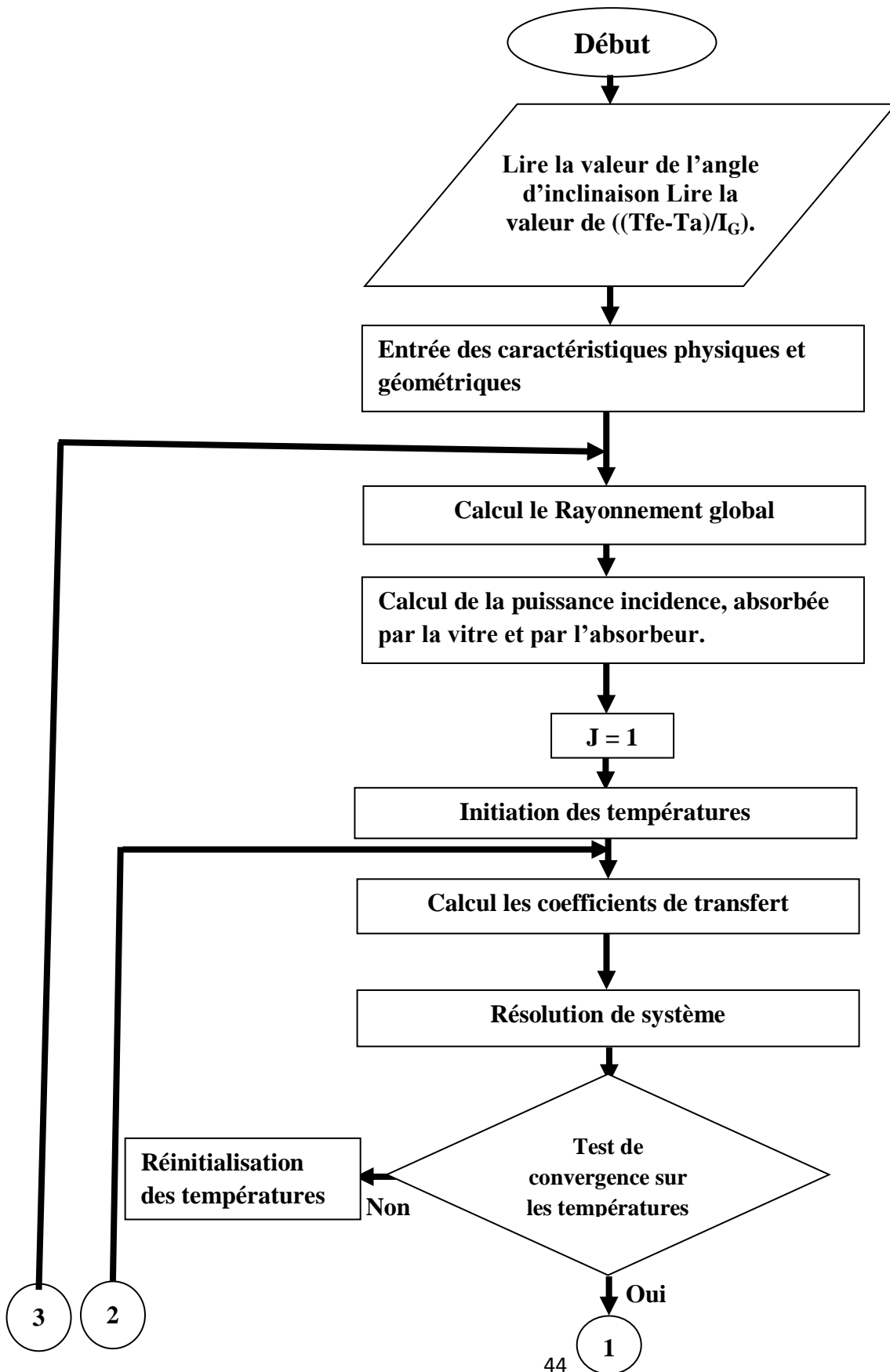
$$B_7 = \frac{M_i C_{PV}}{A_i \Delta t} T_{ie}^0 + h_{ris} \cdot T_s + h_{cia} \cdot T_a$$

**IV.7. Résolution du système d'équation :**

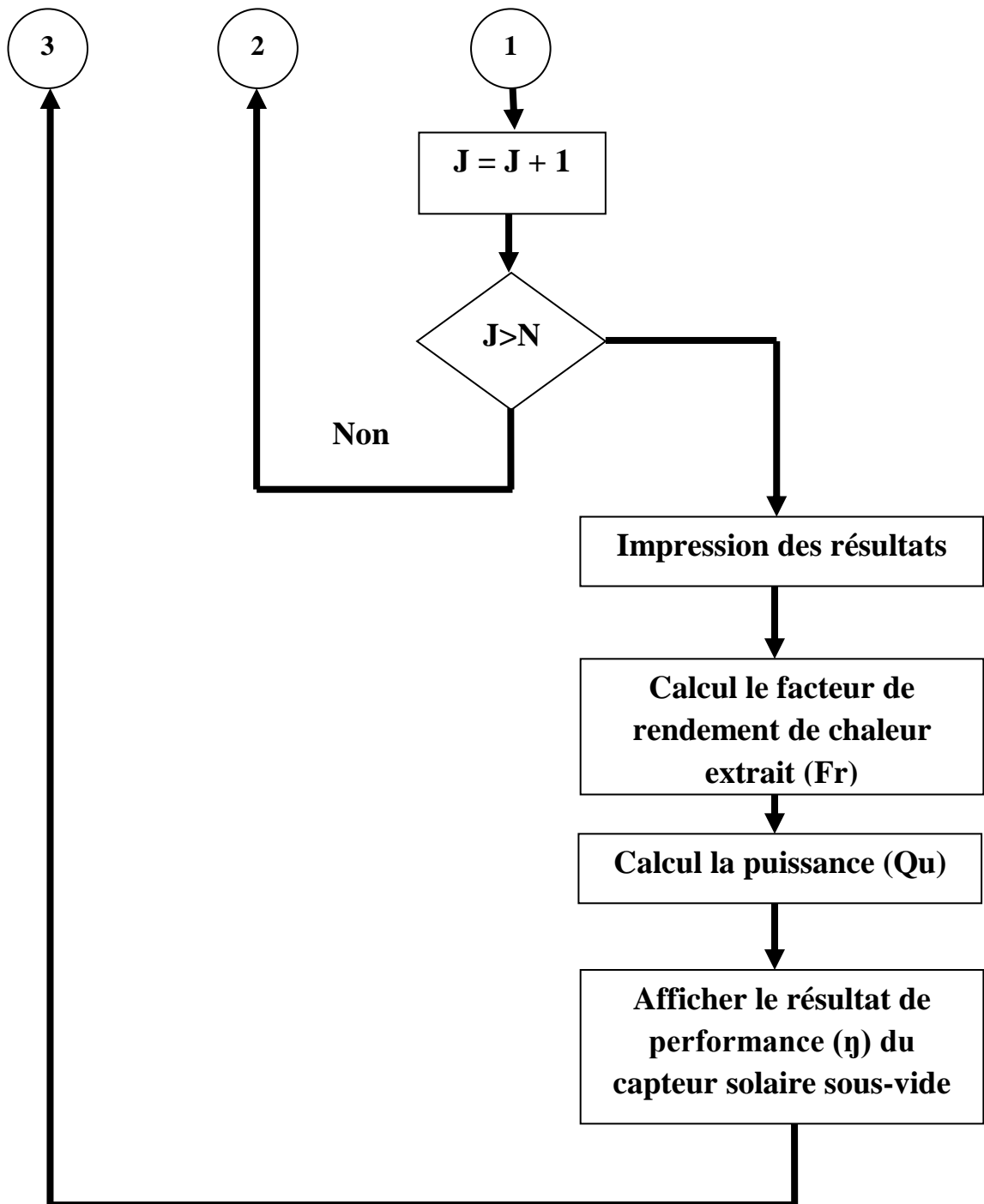
La méthode itérative de Gauss Seidel permet de trouver la résolution de ce système d'équations différentielles.

On considère les températures des différents nœud à l'instant initial connues, nous évaluons les différents coefficients des transferts thermiques par l'algorithme de calcul, et pour chaque pas de temps et pour chaque maille, nous obtenons un système d'équation, sa résolution permet de calculer nos inconnues.

IV.8. Organigramme développé pour calcul numérique la performance :







## **Chapitre V**

# **Interprétation et Discussion des résultats**

## V. Interprétation et discussions des résultats :

Nous utilisons un programme de simulation numérique développé en langage « VISUEL FORTRAN », en prenant une région du sud d'Algérie comme exemple (la région d'Ouargla), à partir des différents tests en les résultats.

### V.1. Données météorologiques (Ouargla) [23] :

Altitude (Z)= 141 m

Latitude ( $\varphi$ ) =31°57'

Longitude ( $\lambda$ )=5°24'E

Albédo ( $\rho$ )=0.35

$V_w$ =4.5 m/s (mois de juillet)

### V.2. Données du problème :

Orientation du capteur.

Surface du capteur ( $A_c$ ).

Epaisseur de l'absorbeur ( $e_p$ ).

Epaisseur de la couverture ( $e_v$ ).

La conductivité de l'absorbeur ( $\lambda$ )

Diamètre des tubes, l'intérieur ( $D_i$ ) et l'extérieur ( $D_e$ ).

Débit massique  $\dot{m}$  .

Température ambiante ( $T_a$ ).

Température de l'entrée de fluide caloporteur (l'eau) ( $T_{fe}$ ).

Coefficient l'absorption ( $\alpha$ )

Coefficient de transmittance ( $\tau$ ).

L'émissivité du couverture ( $\epsilon_v$ ).

L'angle d'incidence ( $i$ ).

L'angle d'inclinaison ( $\beta$ ).

Comme jour de calcul nous choisirons le 15 juillet pour la comparaison.

### V.3 Analyse des résultats de simulation :

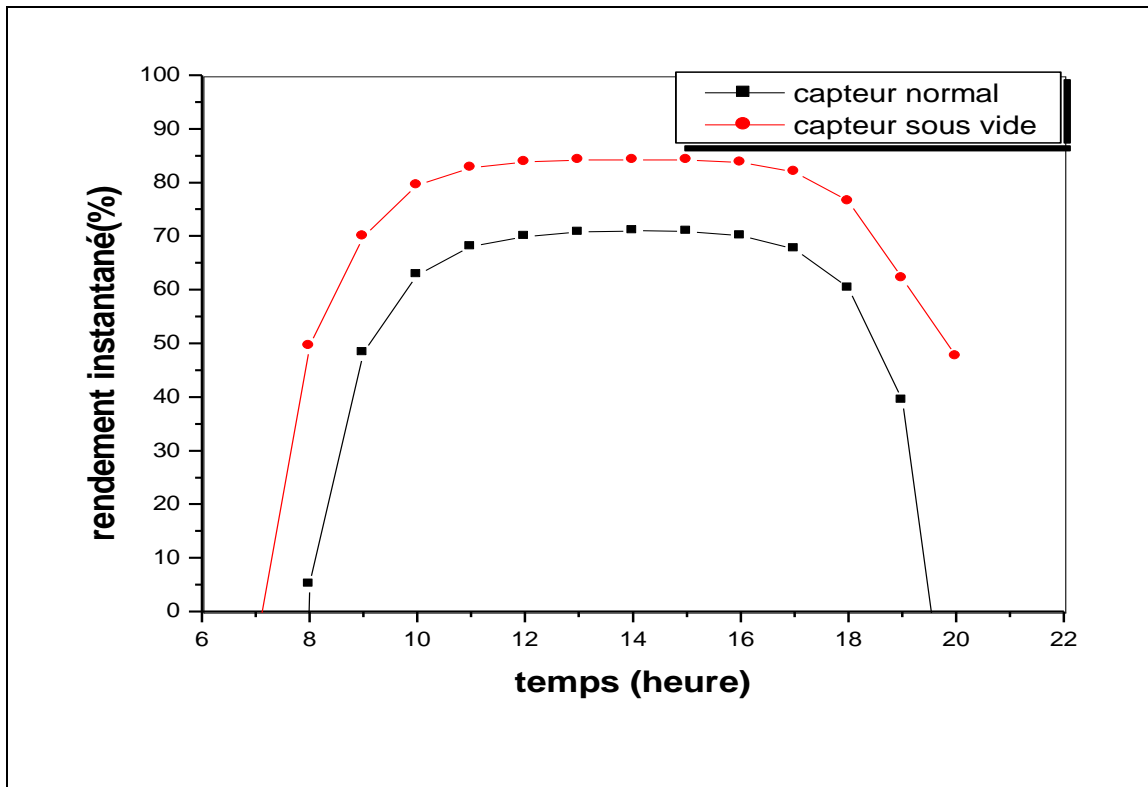


Figure V.1. Variation du rendement instantané du capteur en fonction du temps.

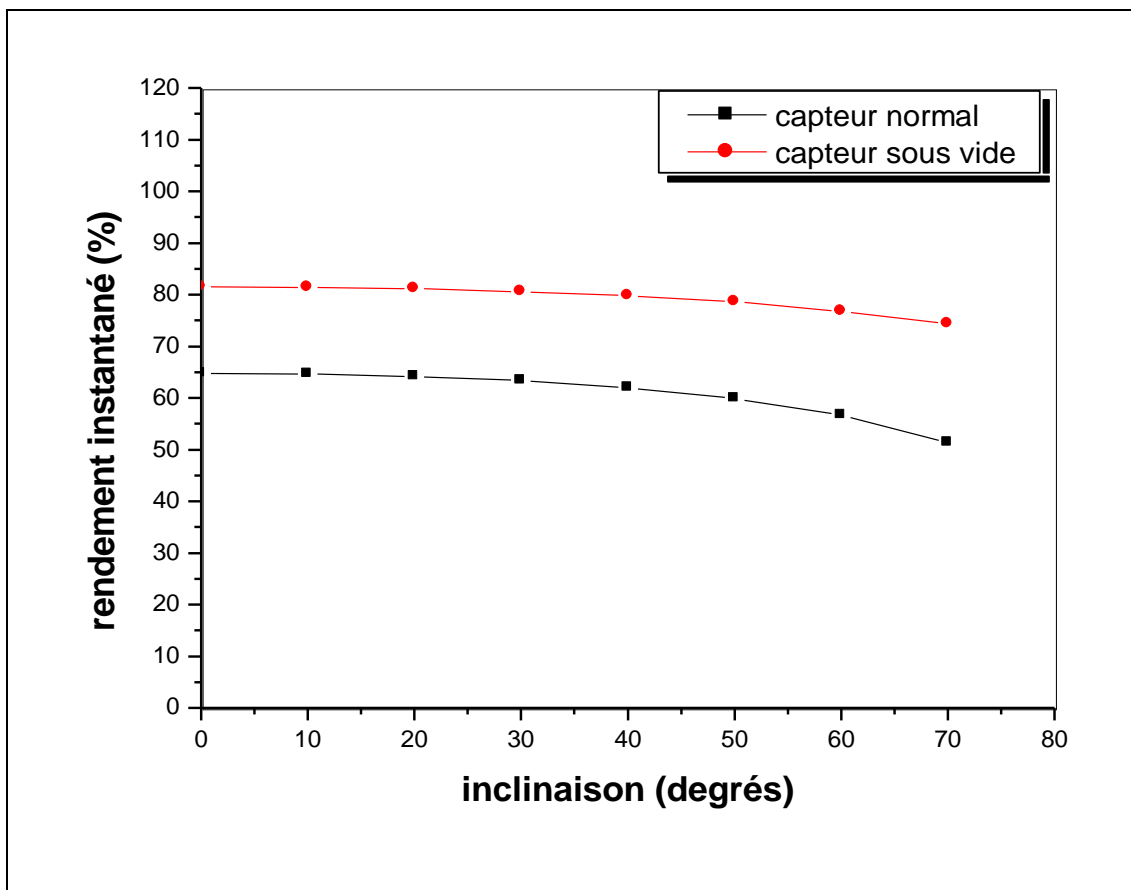


Figure V.2. Variation du rendement instantané en fonction de l'inclinaison

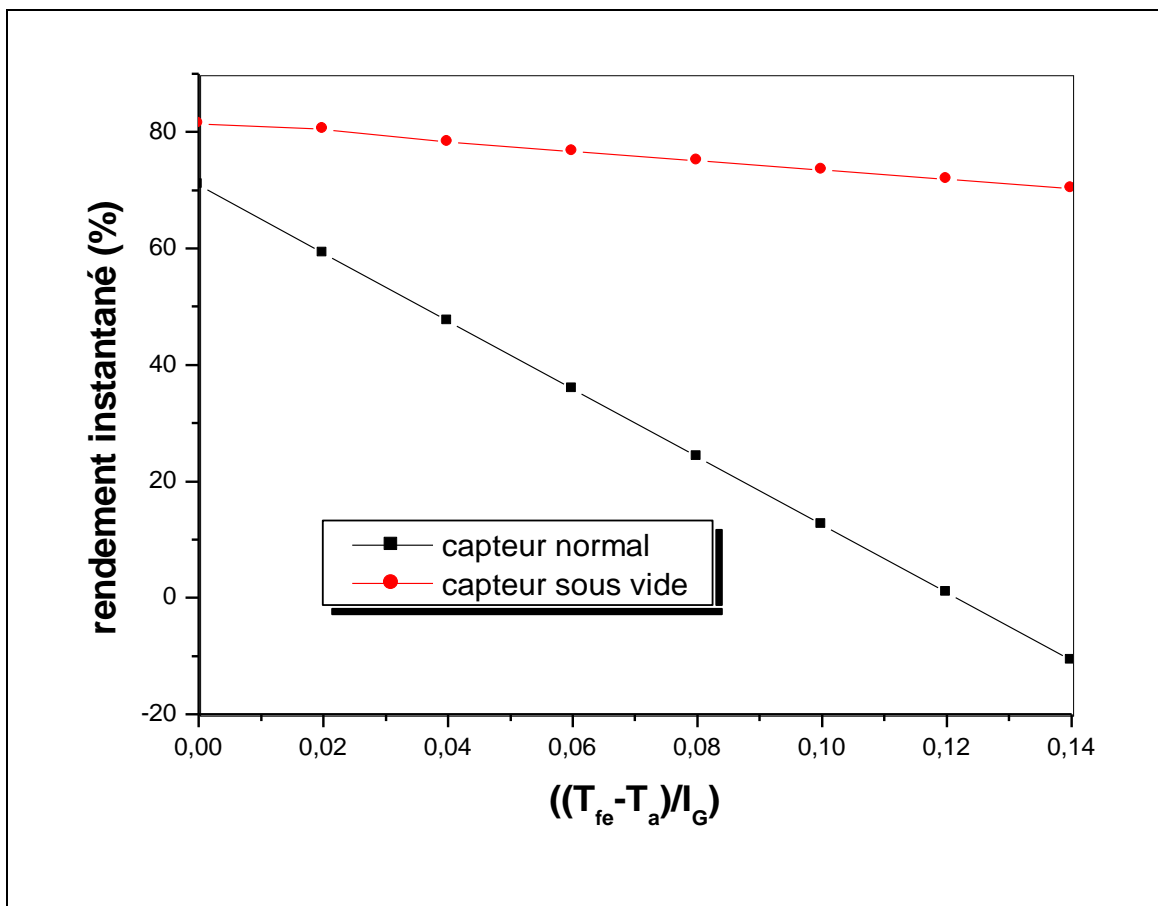


Figure V.3. Variation du rendement instantané en fonction du rapport  $\frac{(T_{fe} - T_a)}{I_G}$ .

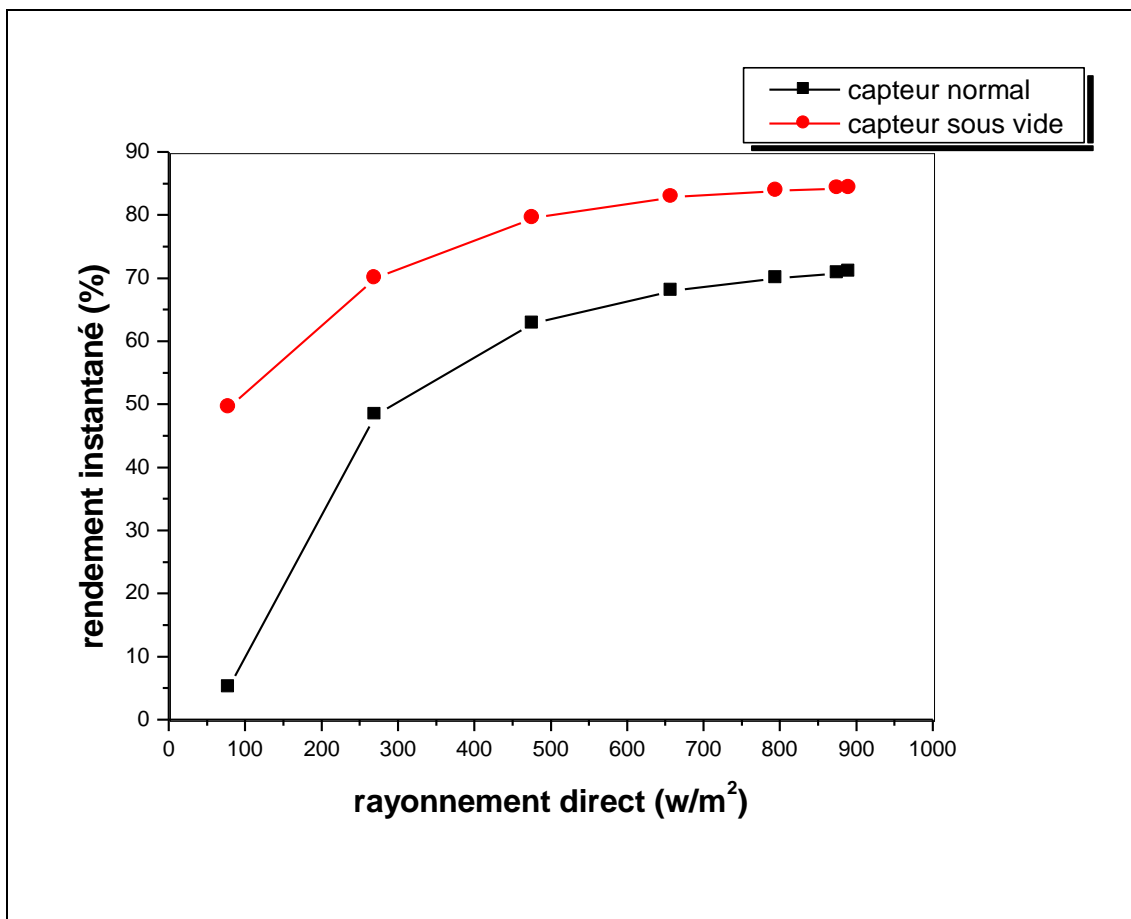


Figure V.4. Variation du rendement instantané en fonction du rayonnement direct sur le capteur.

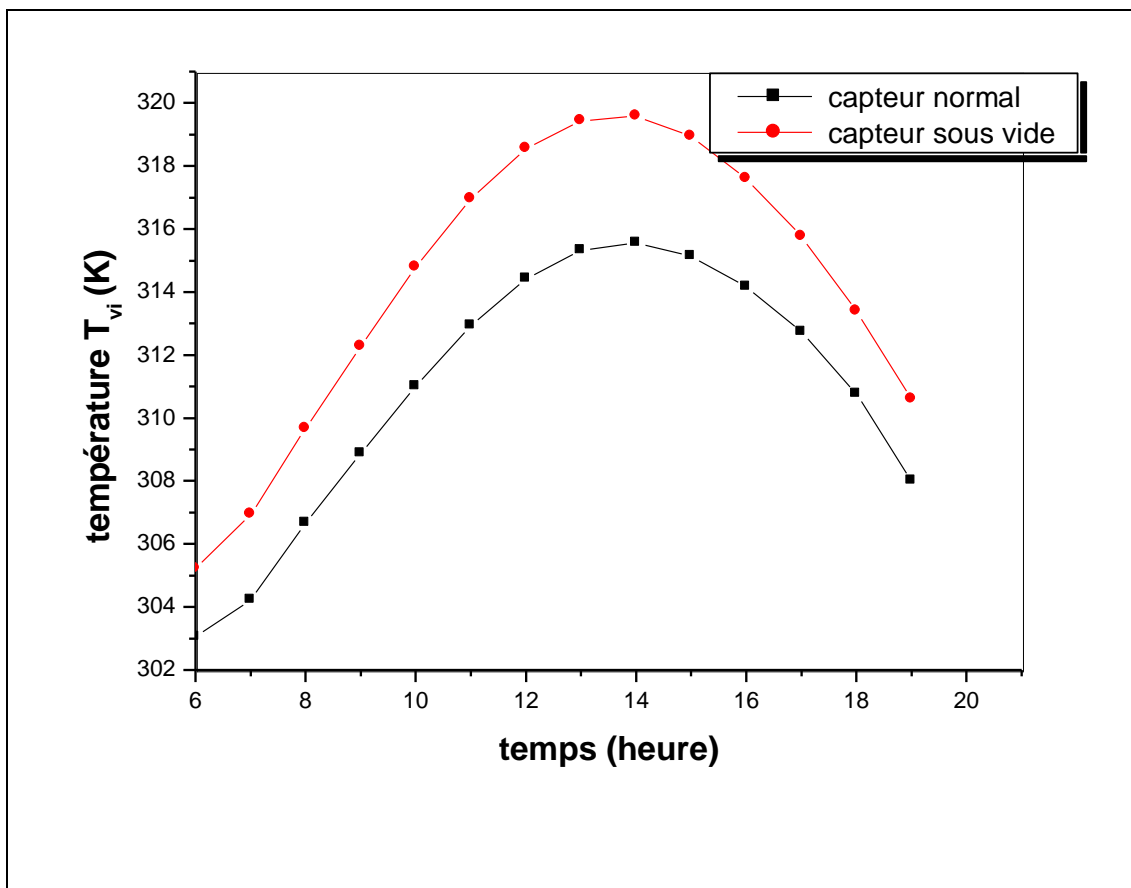


Figure V.5. Variation de la température intérieure de la vitre en fonction du temps.



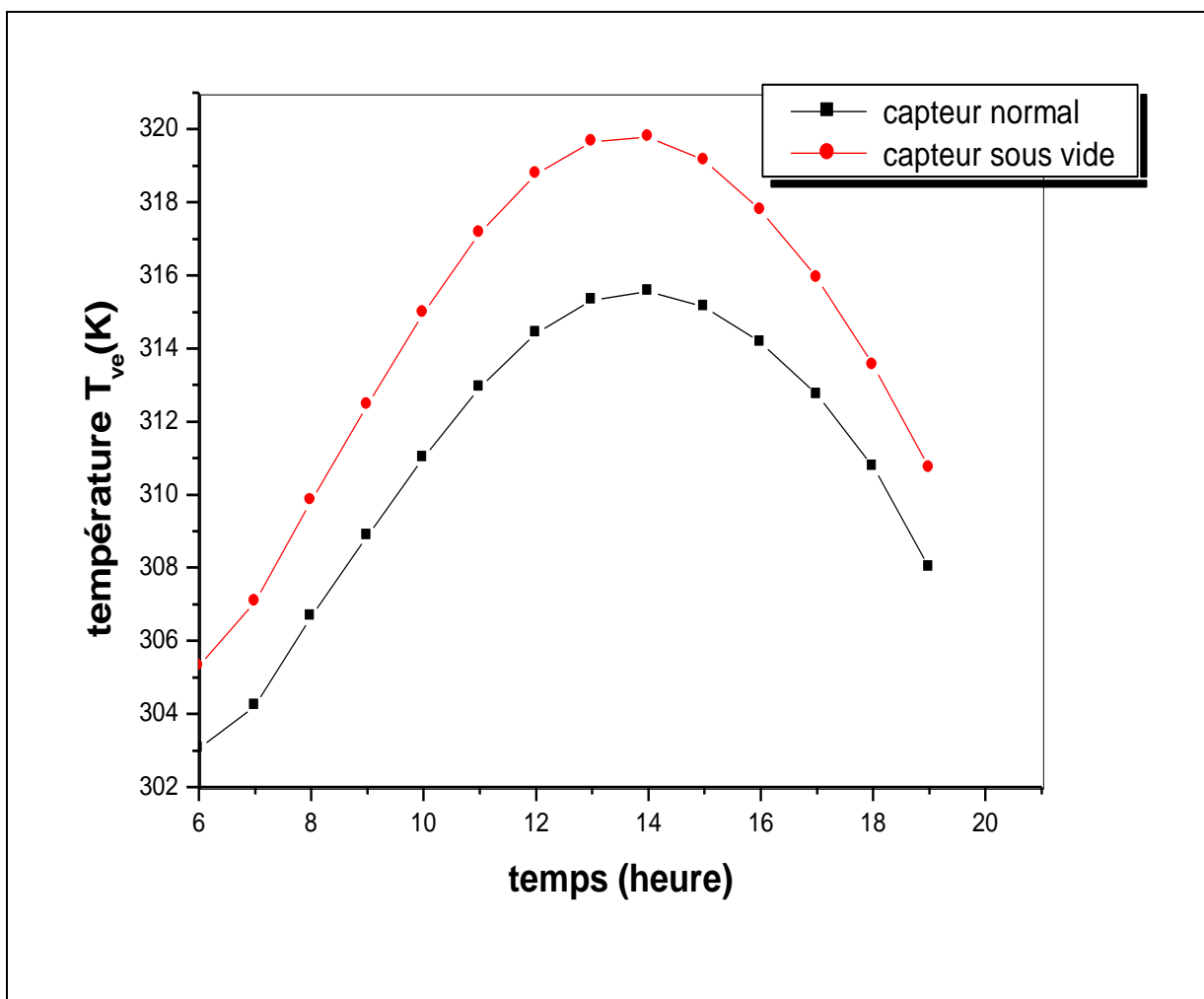


Figure V.6. Variation de la température extérieure de la vitre en fonction du temps.

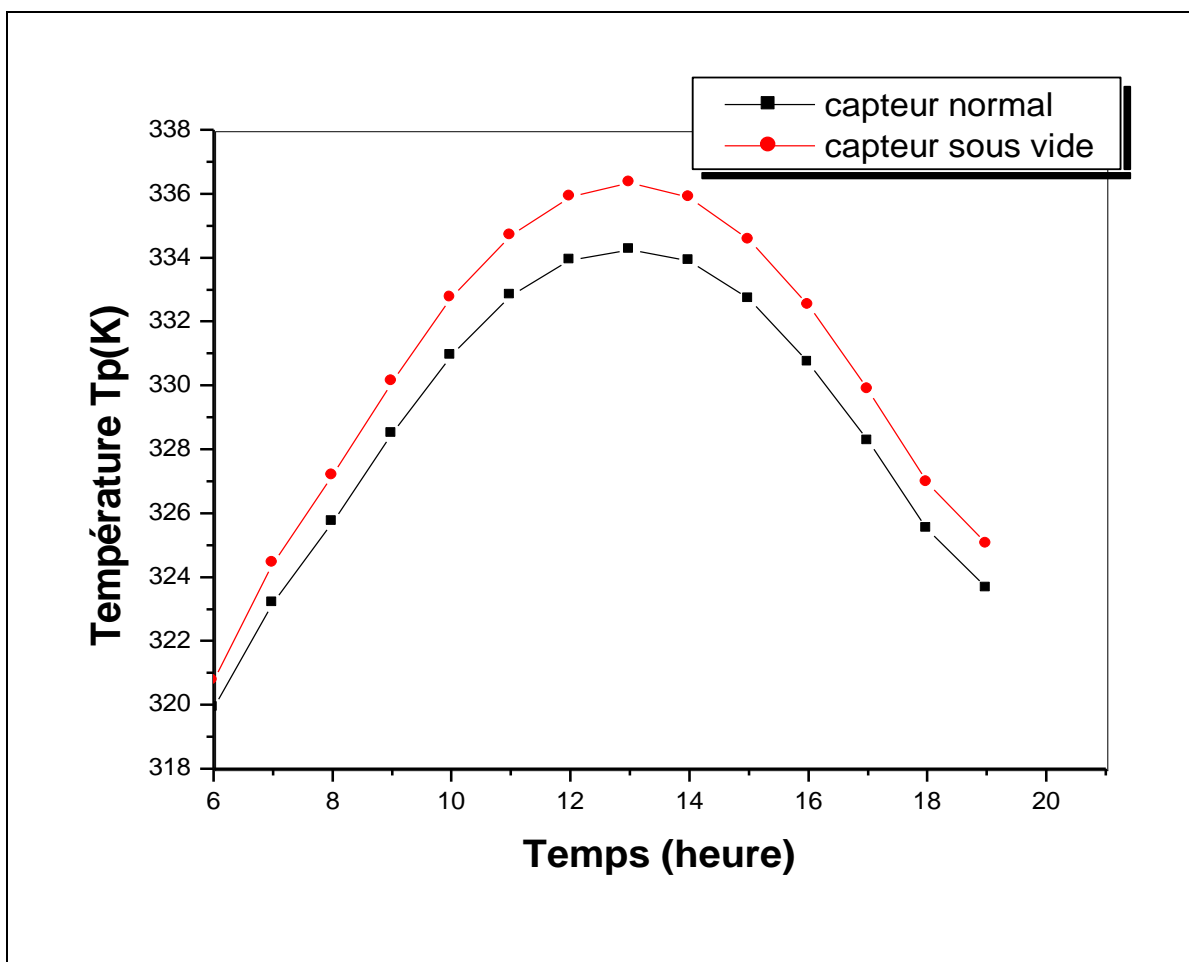


Figure V.7. Variation de la température de l'absorbeur en fonction du temps.

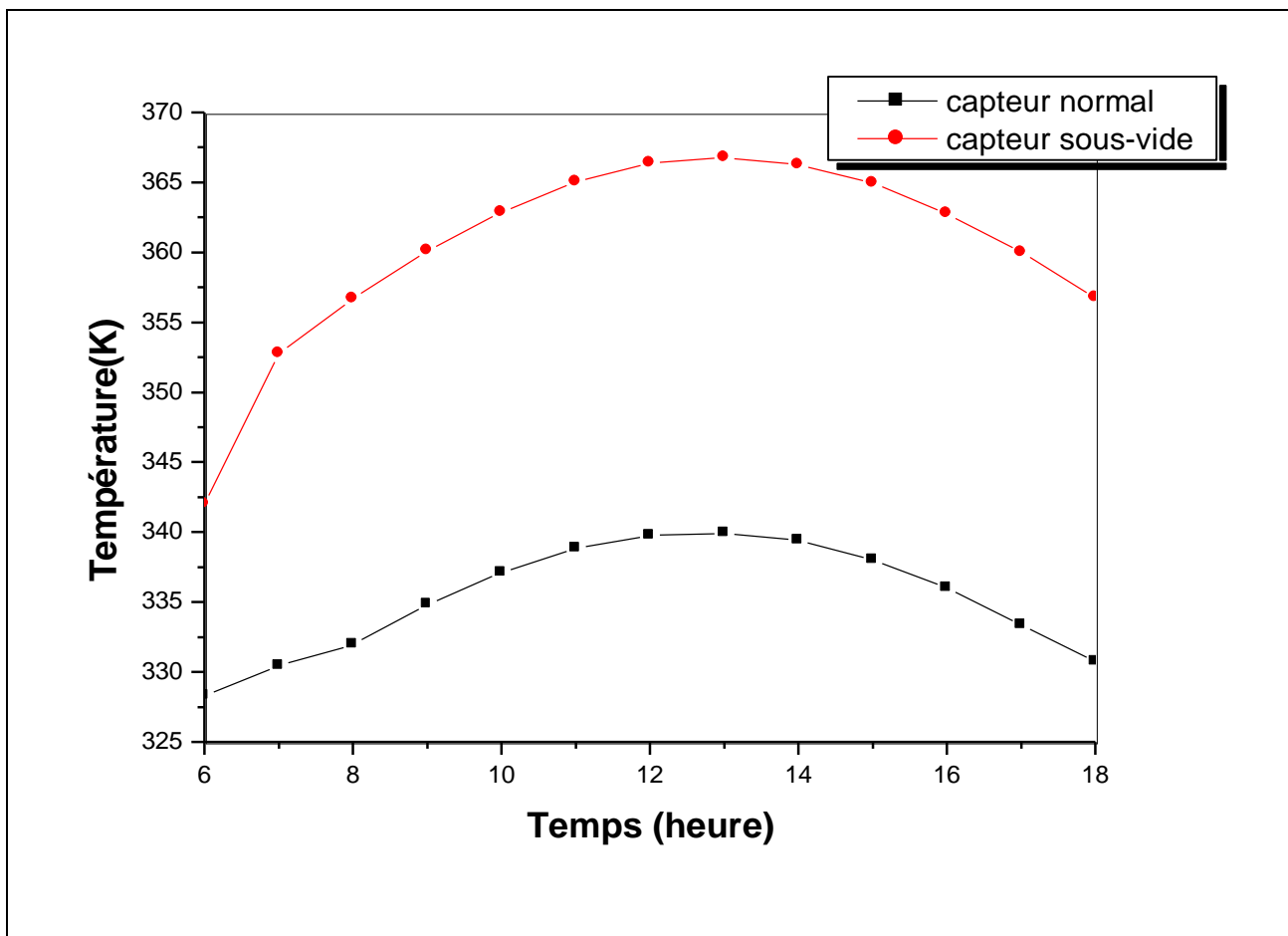


Figure V.8. Variation de la température  $T_f$  du fluide caloporteur en fonction du temps.

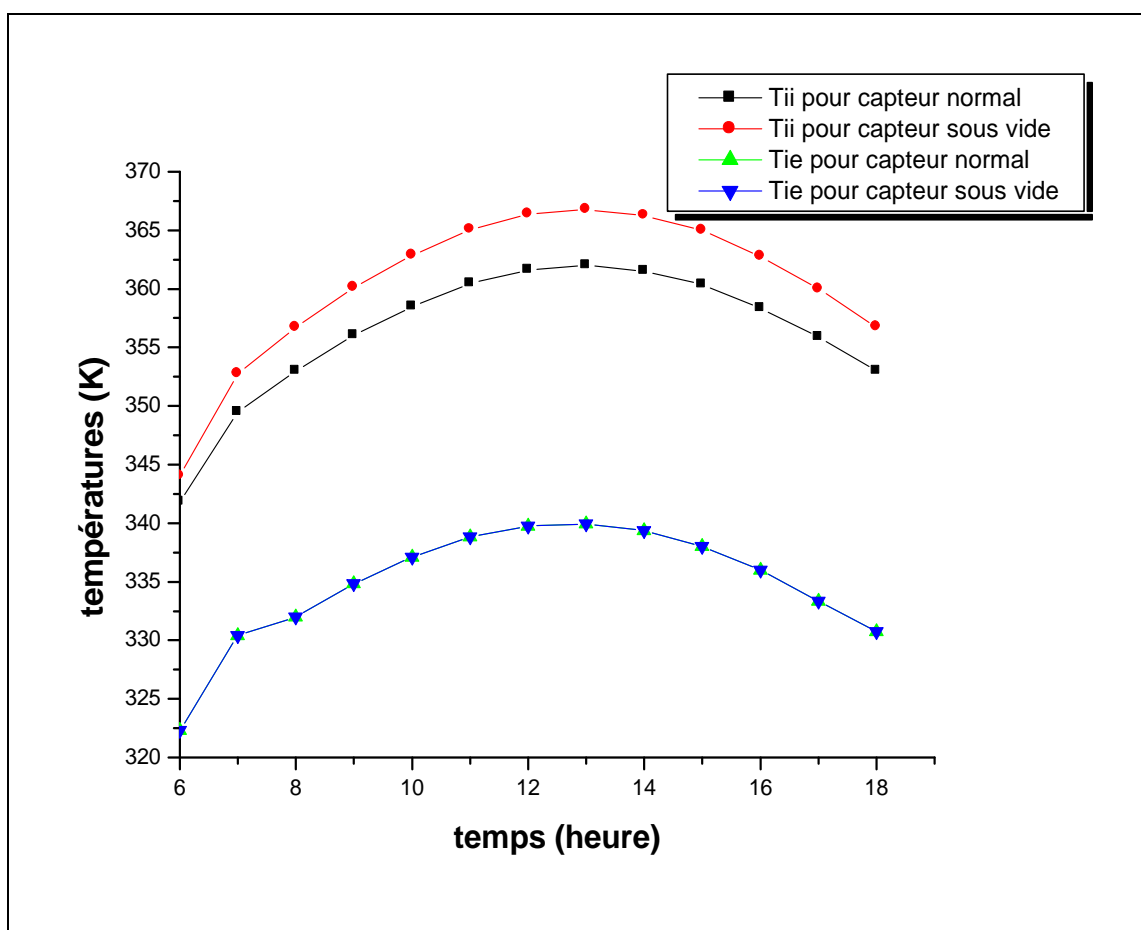


Figure V.9. Variation de la température de l'isolant en fonction du temps.

Sur la (Figure V.1) les variations journaliers du rendement instantané sans représentées pour le capteur solaire sous-vide et le capteur classique.

On remarque une nette amélioration est ceci est du fait que les pertes de chaleur par convection sont éliminées.

L'influence de l'inclinaison sur le rendement du capteur sous-vide et le capteur classique est illustrée sur la (Figure V.2). Il est claire que l'inclinaison du capteur dans les deux cas agit très peu. Cependant, l'absence de la convection fait augmenter le rendement du capteur.

Pour caractériser le capteur sous vide, l'équation de HWB est utilisée. La (Figure V.3) montre la variation du rendement en fonction du rapport de la différence de la température d'entrée du fluide caloporteur et la température ambiante au rayonnement global.

On remarque que la pente du rendement du capteur sous vide est plus faible, ceci montre que le coefficient global de perte est très faible à cause de l'absence des pertes de chaleur par convection.

Il est à préciser que l'augmentation du rayonnement solaire permet d'augmenter le rendement instantané (Figure V.4) et il est clair que la quantité de la chaleur évacuée augmente.

Donc le rendement augmente, on à noter aussi d'après cette figure, que la valeur du rendement du capteur sous vide est toujours plus élevée par rapport à la valeur du rendement du capteur classique.

Dans la figure V.5, on distingue :

La température de face intérieur de la vitre sont plus, car le verre est transparent et ne possédant pas un grand coefficient d'absorption,

La température intérieur du verre est supérieur (la valeur) pour le capteur sous-vide que pour le capteur normal comme l'effet de serre qui permet de piège l'énergie solaire incidence entre la face intérieur de la couverture et l'absorbeur.

Dans le capteur sous vide, la température de la face extérieure est supérieure par rapport le capteur classique (Figure V.6).

Car l'absorbeur comme un corps noir, ont la température est plus élevées sur l'absorbeur (Figure V.7), ce ci peut être justifié par le pouvoir d'absorption qui est élevé pour le rayonnement solaire visible.

La même chose pour le capteur classique, mais toujours la valeur de ce capteur est inférieur.

La température de sortie du fluide caloporteur augmente pour un capteur sous vide par rapport à la température du fluide pour un capteur classique.

Car l'absence de convection (Figure V.8).

En fin, la température de l'isolant externe est la plus faible, pour les deux types de capteur, mais la température du capteur normale est proche de celle de sortie du fluide, par ce que la face intérieure de l'isolant est en contact directement avec les tubes et l'absorbeur (Figure V.9).

Conclusion

## Conclusion

A travers l'étude théorique d'un capteur solaire sous vide nous avons constaté une nette amélioration de ses performances comparées à celles d'un capteur solaire classique. Ce la est du au fait que les pertes de chaleur par convection ont été éliminées.

A cet effet, nous avons opté pour un modèle numérique permettant de simuler le fonctionnement de notre capteur, où un programme de calcul en langage « VISUEL FORTRAN » a été utilisé.

Le but de ce modèle est d'étudier les différentes variations du rendement instantané en fonction de certains facteurs tels que le temps, l'inclinaison du capteur, la température du fluide caloporteur, le rayonnement solaire incidence, etc...pour la région de Ouargla (sud de l'Algérie), durant le 15 juillet pour la comparaison, comme jour de calcul choisi.

Les résultats que nous avons obtenus rependent aux mêmes critères et conditions climatique et géométrique qu'un capteur normal.

Ainsi, le rendement moyen obtenu, au niveau du capteur sous-vide est de l'ordre de 81%, qui est considéré comme comparé aux différents rendements obtenues au niveau des capteurs plans (le rendement est égal à peut près 67%).

Les résultats issus de cette étude ont permis d'avoir les conclusions suivantes :

- ❖ On constate que le rendement instantané augmente avec le temps.
- ❖ Plus l'angle d'inclinaison augmente plus le rendement instantané diminue.
- ❖ On constate que le rendement instantané diminue avec l'augmentation du  $((T_{fe}-T_a)/I_G)$ .

Finalement, à travers les résultats obtenus, nous recommandons :

- ❖ D'entre prendre des études approfondies concevrant l'effet d'une conduction entre la vitre et l'absorbeur « nulle » sur le rendement final.

# Références bibliographiques



## Références bibliographiques

- [1]: **M.MERZOUK** «contribution a la determination des performances thermiques et experimentales des capteurs solaires sous-vide en Regime permanent » these de magister, centre d'études Nucleaires et solaires, Bouzarréah,Alger, 21 juin1986.
- [2]: **FRANK KREITH & JAN F.KREIDER** « Priciples of solar eneerging » éditeur MCGraw-Hill, Washinton,1978.
- [3]:**CLAUDE DELORME** "Système Energétiques solaires" AVIGNON 1987.
- [4]:**R.BERNARD, G.MENGUY** et **M.SCHWARTZ** "Le rayonnement solaire convection thermique et applications" 2<sup>eme</sup> édition, Technique et Documentation, Paris,1980.
- [5]:**ALAIN RICAUDE** "photo piles solaires "Presses polytechniques et universitaires romandes, 1997.
- [6]:**GHELLAB AMEL** "choix optimisation des paramètres de fonctionnement d'un capteur solaire utilisé pour la climatisation" Mémoire de magister, Dept Génie climatique, Université de mentouri constantine, Dec 2002.
- [7]:**DOOBI ABDELMADJID** "climatisation solaire système a absorption "thèse de magister ,Dept physique, U.ouargla, 2000.
- [8]:**GUENNOUN AHMED** "Dimensionnement d'un capteur solaire plan "Mémoire de l'ingénieur d'état G.mécanique, U.ouargla, 2001.
- [9]: **PHILIPPE CLAUARD, HENRI MICHEL, F.SIMON MICHEL** "Bilan thermique d'un Maison solaire méthode de calcul rapide" 5<sup>eme</sup> éditions eyrolles Gernain, Paris, 1977.
- [10]:**KARI BOULAKHRAS** "Etude comparative des performances d'un capteur solaire sous vide et d'un capteur solaire ordinaire "thèse de magister, énergétique, U.constantine, 01 Juillet 1998.
- [11]:**JOHN A.DUFFIE** et **WILLIAM A.BECKMAN**, "solar energy thermal processes",Willy John and Sans, USA, 1980.
- [12]: **F.KADAM, K.BENABDELAZIZ, A.BENZAOU**et **B.BELLAL** "Etude du Rendement optique du capteur d'un chauffe-eau solaire"5<sup>eme</sup>Séminaire international sur la physique Energétique, Alger, Novembre 2000.
- [13]:**A.BOUVENOT**"Transfert de chaleur "MASSON,Paris, 1981.

- [14]:**J.F.SACADURA** "Initiation aux transferts thermiques" Technique et Documentation, Paris, 1982.
- [15]:**J.BONNIN, P.J.WILBUR, S.KARAKI** "réfrigération solaire "Scm , Paris, 1980.
- [16]:**TAHAR GUERMIT** "Analyse et simulation d'une machine frigorifique à absorption couplée à l'énergie solaire, Application dans la région de ouargla" thèse de magister Dept physique, U.ouargla, 29 mai 2000.
- [17]:**SNDA** "Recent development energy systems in JAPAN, in hydrogen energy " Vol 10, USA, 1985.
- [18]:**M.BOUMAZZA, R.MANOUAR.BOUNAB** "Analyse d'une machine frigorifique mécanique absorption " 4<sup>ème</sup> congrès maghrebin de mécanique, U.constantine, nov1999.
- [19]:**S.BELEAKHOWSKY** "chauffage et climatisation "6<sup>ème</sup> édition, Technique et vulgarisation, Paris,1980.
- [20]:**KEMMOUCHE LEILA** "Modele de fonctionnement d'une station solaire photovoltaïque, prevision de pannes " Mémoire de magister, Dept d'électronique, U.Mentouri constantine, 2002.
- [21]:**L'office National de Météorologie** « Les données climatique de Ouargla de l'année de 1990 jusqu'à l'année 2001 »
- [22]:**ASHRAE-Fundamentals.800p;1989**
- [23]: **M .CAPDEROU** "Atlas solaire de l'Algérie " Ecole polytechnique d'architecture et d'urbanisme, Alger,1987.

Annexe

### A.1 Rayonnement réfléchi(I<sub>REF</sub>):

Si ( $\rho$ ) est coefficient de réflexion appelé (Albédo), supposant que cette réflexion est une diffusion, on aura:

$$I_{REF} = \rho * (I) = I_h \frac{(1 - \cos \beta)}{2} \quad (\text{W/m}^2) \quad (\text{A.1})$$

$I_h$ : étant le rayonnement solaire instantané sur un plan horizontal.

### A.2 Nombre de la Masse D'air:

L'intensité du rayonnement solaire direct dépend de l'atténuation due à l'atmosphère. Pour tenir compte de la position relative du soleil qui modifie l'épaisseur d'atmosphère traversée (**figure(A.1)**).

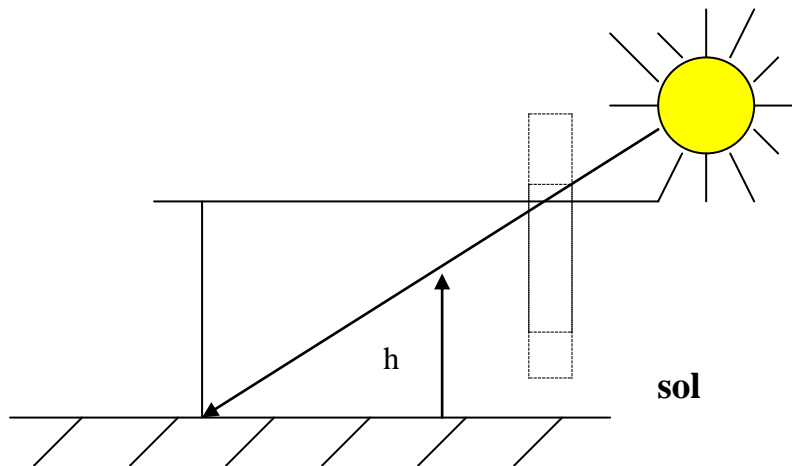


Figure A.1. Nombre Air masse.

On introduit un coefficient "m" appelé masse atmosphérique ou de masse d'air, défini par [18]:

$$m = \frac{P_{atm}}{1.013} * \frac{1}{\sin(h)} * \exp\left(\frac{-Z}{7.8}\right) \quad (\text{A.2})$$

Dans les conditions normales et au niveau de la mer, l'expression simplifiée suivante est utilisée:

$$m = \frac{1}{\sin(h)} \quad (\text{A.3})$$

<b>h (degrés)</b>	<b>18</b>	<b>16</b>	<b>14</b>	<b>12</b>	<b>10</b>	<b>9</b>	<b>8</b>	<b>7</b>	<b>6</b>	<b>5</b>
<b>m</b>	<b>3.209</b>	<b>3.588</b>	<b>4.075</b>	<b>4.716</b>	<b>5.6</b>	<b>6.18</b>	<b>6.88</b>	<b>7.77</b>	<b>8.9</b>	<b>10.4</b>

Tableau(A.1). Masse d'air pour des rayons de faible hauteur angulaire.

	<i>Bar</i>	<i>Mbar</i>	<i>Pa</i>	<i>atm</i>	<i>torr</i>
<b>1 bar</b>	1	10 <sup>3</sup>	10 <sup>5</sup>	0.986923	0.750062.10 <sup>3</sup>
<b>1 mbar</b>	1.10 <sup>-3</sup>	1	102	0.986923.10 <sup>-3</sup>	0.750062.10 <sup>-2</sup>
<b>1 pa</b>	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-2</sup>	1	0.986923.10 <sup>-5</sup>	0.750062.10 <sup>-2</sup>
<b>1 atm</b>	1.01325	1.01325.10 <sup>3</sup>	1.01325.10 <sup>5</sup>	1	0.760.10 <sup>3</sup>
<b>1 torr</b>	1.333224.10 <sup>-3</sup>	1.333224	1.333224.10 <sup>2</sup>	1.315789.10 <sup>-3</sup>	1

Tableau (B.1). Unité de mesure du Vide.

Pa= Pascal  
 1 Pa=1N.m<sup>2</sup>  
 1 atm= 760 torr

### B.1 La température :

Mois	Tmoy max	Tmoy min	Tmoy (C°)
J	4.775	18.358	11.566
F	6.133	20.90	13.516
M	9.850	24.317	17.383
A	14.325	28.783	21.554
M	19.092	34.325	26.7085
J	25.058	40.1	32.579
J	26.765	42.85	34.807
A	26.725	42.333	30.529
S	23.258	37.733	30.495
O	16.883	30.958	23.920
N	9.600	23.191	16.395
D	5.717	18.875	12.296

Tableau(B.2). Les températures d'Ouargla (1989-2001) [19].

$$T_{\text{moy}} = \frac{(T_{\text{moy max}} + T_{\text{moy min}})}{2}$$

## **B.2 Le vent :**

L'existence de haute et basse pression, est l'origine du vent. Ce dernier est caractérisé par direction et par sa vitesse de la composante Horizontal. Les plus forts sont supérieurs à 20[m/s], soufflent du Nord-Est et Sud. Le plus fréquent au printemps avec une direction Nord-Est/Sud-Est.

Les valeurs mensuelles moyennes des vitesses du vent, pour la région de Ouargla calculées durant onze années (19902001) [19] représentées sur le tableau (B.3).

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Vw(m/s)	5	3	3.97	4.63	4.8	4.96	4.52	3.92	4.19	3.62	2.8	2.76

**Tableau(B.3). Les valeurs mensuelles moyennes des vitesses du vent pour Ouargla**

MATERIAUX	Conductivité thermique	Coefficient d'absorptivité	Coefficient d'émissivité	Diffusivité (m <sup>2</sup> /s)
Cuivre poli	390	0.75	0.04	1.14.10-4
Aluminium	200	0.54	0.04	0.86.10-4
Acier doux poli	46	0.7	0.0	0.12.10-4

Tableau (C.1). Propriété de quelques matériaux habituellement utilisée.

Matériaux	Epaisseur (mm)	Réflexion	Absorption	Transmission
Verre étiré	3	0.07	0.06	0.87
Poly glass	6	0.13	0.20	0.67
terphane	4	0.12	0.03	0.85
Mylar	5	0.12	0.03	0.85

Tableau(C.2). Propriétés de quelques couvertures utilisées pour l'effet de serre.

MATERIAU	Conductivité thermique (w/m°K)
Cuivre	376
Aluminium	205
Acier	50
Acier inoxydable	24
Acrylique	0.20
Polyéthylène	0.30-0.40

Tableau (C.3). Conductivité thermiques de quelques matériaux pour absorbeurs.



## program rand

```

*****
*   Ce programme permet de calcul tout les paramètres inconnus pour   *
*   calcule les performances de capteur solaire                         *
*                                                                 *
*****
      real k,lam,mu1,mu2,nus,m,n,no,nth,nth1,nthm,nom,larg
      dimension tve(100,50),tvi(100,50),tp(100,50),tt(100,50),tf(100,50),
& tie(100,50),stve(100,50),stvi(100,50),stp(100,50),
& stt(100,50),stf(100,50),stii(100,50),stie(100,50),ddt(100,50),
& dila(100,50),at(100,50),amu1(100,50),anu1(100,50),gr1(100,50),
& pr1(100,50),ra1(100,50),nu1(100,50),hcdpv(100,50),mm(100),
& hrvc(100,50),hrpv(100,50),hris(100,50),lam(100,50),
& ro1(100,50),mu1(100,50),mu2(100,50),cp(100,50),pr(100,50),
& re(100,50),gz(100,50),nus(100,50),hcfp(100,50),rint(100,50),
& rext(100,50),uav(100,50),ug(100,50),m(100,50),n(100,50),f(100,50),
& x(100,50),y(100,50),z(100,50),w(100,50),fc(100,50),x1(100,50),
& fr(100,50),qu(100,50),no(100,50),nth(100,50),tamb0(100),tamb(100)
& ,omega(100),sh(100),ci(100),todir(100),todif(100),Idifh(100),
& Idirh(100),Idifs(100),Idifc(100),Idif(100),Idir(100),Igh(100)
& ,Ig(100),teta(100),rg1(100),rg2(100),r1(100),
& tr1(100),ta1(100),tdir(100),alphadir(100),tdif(100),alphadif(100),
& pv(100),pp(100),tc(100)

open (unit=3,file='karima1.out',status='replace')

      write(*,*)"donner la valeur de ' evp '"
      read(*,*)evp

      do l=6,21
!   tamb0(l)=[((Tamax+Tamin)/2)*sin((t-8)*3.14/12)+(Tamax-Tamin)/2.]
!   Tamax=42.85
!   Tamin=26.65
      tamb0(l)=8.* sin (0.261*l-2.093)+34.8      !(c°)
      tamb(l)=tamb0(l)+273.                      !(k)
!   write(3,*)"tamb(",l,")=",tamb(l)
      end do
ev=0.0025
alam_p=389.
tfe=318.
q=0.0088
ep=0.002
k=4.
Vw=4.5
epsi_v=0.88
epsi_p=0.04
rop=8940.
cpp=38.
alam_p=46

```

```

*****
*   coefficient d'échange de chaleur par convection entre le verre et   *
*   l'ambiance hcva                                                    *
*****
      hcva=3.86*Vw+5.678
!   write(3,*)"hcva=",hcva
*****
*   coefficient par conduction entre les deux parois de la couverture   *
*   hcdv                                                                *
*****
      hcdv=1.15/ev
!   write(3,*)"hcdv=",hcdv
*****
c   coefficient par conduction entre l'absorbeur et le tube             *
*****
      hcdpt=alam_p/0.0045
!   write(3,*)"hcdpt=',hcdpt
*
*****
c   coefficient par conduction entre le tube et l'isolant               *
*****
      hcdit=194.500
!   write(3,*)"hcdit=',hcdit
*
*****
c   rayonnement global                                                 *
*****
      do 10 tl=6,19
      omega(tl)=((15.*tl)-191.1)*(3.14/180.)    ! (degré)
!   write(3,*)"omega=',omega
!   sh(tl)=sin(fi)sin(delta)+cos(fi)cos(delta)cos(omega(tl))
      sh(tl)=0.194+0.789*cos(omega(tl))
!   write(3,*)"sh=',sh
!   cos(i)=cos(fi-beta)cos(delta)cos(omega(tl))+sin(fi-beta)sin(delta)
      ci(tl)=0.93*cos(0.55-beta)*cos(omega(tl))+0.366*sin(0.55-beta) !(rad)
!   write(3,*)"ci=',ci
      todir(tl)=0.88*exp(-0.26/sh(tl))
      todif(tl)=0.271-0.2939*todir(tl)
      Idifh(tl)=1323.1*sh(tl)*todif(tl)
      Idirh(tl)=1323.1*todir(tl)
      Idifs(tl)=0.35*((1.-cos(beta))/2.)*(Idifh(tl)*sh(tl)+
&Idifh(tl))
      Idifc(tl)=((1.+cos(beta))/2.)*Idifh(tl)
      Idif(tl)=Idifs(tl)+Idifc(tl)
!   write(3,*)"hdif(",tl,")=',hdif(tl)
      Idir(tl)=Idirh(tl)*ci(tl)
!   write(3,*)"hdir(",tl,")=',hdir(tl)
      Igh(tl)=Idifh(tl)+Idirh(tl)
      Ig(tl)=Idif(tl)+Idir(tl)

```

```

!   write(3,*)"tl=",tl
!   write(3,*)"Igh(",tl,")=",Igh

!   write(3,*)"Ig(",tl,")=",Ig(tl)
*
*****
c   calcul des puissances par la vitre et l'absorbeur
*****
      teta(tl)=asin(0.66555*sin(acos(ci(tl))))
      rg1(tl)=((sin(teta(tl)-acos(ci(tl))))*(sin(teta(tl)-acos(ci(tl))))
&)/((sin(teta(tl)+acos(ci(tl))))*(sin(teta(tl)+acos(ci(tl))))))
      rg2(tl)=((tan(teta(tl)-acos(ci(tl))))*(tan(teta(tl)-acos(ci(tl))))
&)/((tan(teta(tl)+acos(ci(tl))))*(tan(teta(tl)+acos(ci(tl))))))
      r1(tl)=0.5*(rg1(tl)+rg2(tl))
      tr1(tl)=(1.-r1(tl))/(1.+r1(tl))
      ta1(tl)=exp(-k*ev/(cos(teta(tl))))
      tdir(tl)=tr1(tl)*ta1(tl)
      alphadir(tl)=1.-r1(tl)-tdir(tl)
      tdif(tl)=0.829*exp(-38.87*ev)
      alphadif(tl)=0.9066-tdif(tl)
      pv(tl)=(Idir(tl)*alphadir(tl)+Idif(tl)*alphadif(tl))
      pp(tl)=(Idir(tl)*tdir(tl)+Idif(tl)*tdif(tl))*0.954
!   write(3,*)"pv(",tl,")=",pv(tl)
!   write(3,*)"pp(",tl,")=",pp(tl)
      do 20 j=1
        if(j.eq.1)then
          tfe(tl+1,j)=tfe+1.5
          tf(tl,j)=tfe+1.5
        endif
        if(tl.eq.6)then
          tve(tl,j+1)=tamb(6)
          tvi(tl,j+1)=tamb(6)
          tp(tl,j+1)=tamb(6)+10.
          tt(tl,j+1)=tamb(6)
          tf(tl,j+1)=tfe+1.5
          tii(tl,j+1)=tamb(6)
          tie(tl,j+1)=tamb(6)
          tve(tl,j)=tamb(6)
          tvi(tl,j)=tamb(6)
          tp(tl,j)=tamb(6)+10.
          tt(tl,j)=tamb(6)
          tf(tl,j)=tfe+1.5
          tii(tl,j)=tamb(6)
          tie(tl,j)=tamb(6)
        endif
!   write(3,*)"tp(",tl,",",j+1,")=",tp(tl,j+1)
!   write(3,*)"tvi(",tl,",",j+1,")=",tvi(tl,j+1)
          ddt(tl,j+1)=abs((tp(tl,j+1)-273.)-(tvi(tl,j+1)-273.))
!   write(3,*)"ddt=",ddt(tl,j+1)
          dila(tl,j+1)=2./((tp(tl,j+1)-273.)+(tvi(tl,j+1)-273.))

```

```

    at(tl,j+1)=((tp(tl,j+1)-273.)+(tvi(tl,j+1)-273.))/2.
    amu1(tl+1,j+1)=1.458*sqrt(at(tl,j+1))/(1.+110.4/at(tl,j+1))*10.
    &*(-6)
!   write(3,*)"amu1=",amu1(tl,j+1)
    anu1(tl+1,j+1)=amu1(tl+1,j+1)/1.1
!   write(3,*)"anu1=",anu1(tl,j+1)
    pr1(tl+1,j+1)=amu1(tl+1,j+1)*1005/0.0026
*
*****
c   coefficient par rayonnement entre le verre et le ciel hrvc          *
*****
    tc(tl)=0.0552*tamb(tl)**1.5
    hrvc(tl+1,j+1)=4.9896*1e-08*(tve(tl,j+1)**4.+tc(tl)**4.)/
    &(tve(tl,j+1)+tamb(tl))
!   write(3,*)"tc(",tl,")=",tc(tl)-273.
*
*****
c   coefficient par ray entre la plaque et le verre hrpv              *
*****
    hrpv(tl+1,j+1)=5.67*10.**(-8)*(tp(tl,j+1)**2+tvi(tl,j+1)**2.)*
    &(tp(tl,j+1)+tvi(tl,j+1))/(((1-epsi_v)/epsi_v)*1.+(1/epsi_p))
!   write(3,*)"hrpv(",tl+1,",",j+1,")=",hrpv(tl+1,j+1)
*
*****
c   coefficient par rayonnement entre l'isolant et le sol hris        *
*****
    hris(tl+1,j+1)=0.567*1e-08*(tie(tl,j+1)**2.+tamb(tl)**2.)*
    &(tamb(tl)+tie(tl,j+1))
!   write(3,*)"hris(",tl+1,",",j+1,")=",hris(tl+1,j+1)
*
*****
c   les caractéristiques de l'eau                                     *
*****
c   tt(tl+1,j)=tamb(tl+1)
    tf(tl+1,j)=tfe+1.5
c   tt(tl+1,j)=tt(tl+1,j)-273.
    tf(tl+1,j)=tf(tl+1,j)-273.
!   write(3,*)"tf(",tl+1,",",j,")=",tf(tl+1,j)
!   write(3,*)"tt(",tl+1,",",j,")=",tt(tl+1,j)
*
*****
c   conductivite thermique(w/m°k)                                    *
*****
    lam(tl+1,j+1)=0.5692+(0.1858-0.7499*1e-03*tf(tl+1,j))*tf(tl+1,j)*
    &1e-02
!   write(3,*)"lam(",tl+1,",",j+1,")=",lam(tl+1,j+1)

```

```

*****
c  masse volumique(kg/m3) *
*****
  Ro1(tl+1,j+1)=999.879395+0.04694*tf(tl+1,j)-0.66725*1e-02*
  &tf(tl+1,j)**2+0.208229*1e-04*tf(tl+1,j)**3
!   write(3,*)"ro1(",tl+1,",",j+1,")=",ro1(tl+1,j+1)
*
*****
c  viscosité dynamique (kg/m.s) *
*****
  mu1(tl+1,j+1)=5.449-0.1087*tf(tl+1,j)+7.325*1e-04*tf(tl+1,j)**2
  mu1(tl+1,j+1)=mu1(tl+1,j+1)/3600.
!   write(3,*)"mu1(",tl+1,",",j+1,")=",mu1(tl+1,j+1)
  mu2(tl+1,j+1)=5.449-0.1087*tt(tl,j+1)+7.325*1e-04*tt(tl,j+1)**2
  mu2(tl+1,j+1)=mu2(tl+1,j+1)/3600.
!   write(3,*)"mu2(",tl+1,",",j+1,")=",mu2(tl+1,j+1)
*
*****
c  capacité calorifique (J/kg.k) *
*****
  cp(tl+1,j+1)=4216.66406-3.1657*tf(tl+1,j)+0.0886749*tf(tl+1,j)**2.
  &-0.10106375*1e-02*tf(tl+1,j)**3.+0.444909529*1e-05*tf(tl+1,j)**4.
!   write(3,*)"cp(",tl+1,",",j+1,")=",cp(tl+1,j+1)
*
*****
c  coefficient par convection entre le fluide et la plaque *
*****
  Re(tl+1,j+1)=4.*q/(mu1(tl+1,j+1)*0.03768)
!   write(3,*)"Re(",tl+1,",",j+1,")=",Re(tl+1,j+1)
  Pr(tl+1,j+1)=(mu1(tl+1,j+1)*cp(tl+1,j+1))/lam(tl+1,j+1)
!   write(3,*)"Pr(",tl+1,",",j+1,")=",Pr(tl+1,j+1)
  Gz(tl+1,j+1)=Pr(tl+1,j+1)*Re(tl+1,j+1)*0.012/0.95
!   write(3,*)"Gz(",tl+1,",",j+1,")=",Gz(tl+1,j+1)
  if (Re(tl+1,j+1).gt.2100.) goto 200
  if (Gz(tl+1,j+1).gt.100. ) goto 210
200 Nus(tl+1,j+1)=3.66+((0.0668*Gz(tl+1,j+1)*((mu1(tl+1,j+1)/
  &mu2(tl+1,j+1))**0.14))/(1.+(0.047*(Gz(tl+1,j+1)**0.66))))
!   goto 220
210 Nus(tl+1,j+1)=1.86*Gz(tl+1,j+1)**0.33*(mu1(tl+1,j+1) /
  &mu2(tl+1,j+1))**0.14+0.87*(1.+0.015*Gz(tl+1,j+1)**0.33)
!   goto 220
  if (2100.lt.Re(tl+1,j+1).lt.10000) goto 220
  if (Re(tl+1,j+1).gt.10000.) goto 230
220 Nus(tl+1,j+1)=0.116*(Re(tl+1,j+1)**0.06-125.)*Pr(tl+1,j+1)**0.33
  &*(1.+(0.012/0.95)**0.66)*(mu1(tl+1,j+1)/mu2(tl+1,j+1))**0.14
!   goto 220
230 Nus(tl+1,j+1)=0.023*Re(tl+1,j+1)**0.8*Pr(tl+1,j+1)**0.33*
  &(mu1(tl+1,j+1)/mu2(tl+1,j+1))**0.14220
  hcfp(tl+1,j+1)=Nus(tl+1,j+1)*lam(tl+1,j+1)/0.012
!   write(3,*)"Nus(",tl+1,j+1,")=",nus(tl+1,j+1)

```

```

tt(tl,j+1)=tt(tl,j+1)+273.
tf(tl+1,j)=tf(tl+1,j)+273.
*
*****
c  lecture des elements de la matrice
*****
dt=1200.
a11=hcva+hcdv+hrvc(tl+1,j+1)+106200.*ev/dt
!   write(3,*)"a11=",a11
    a12=-hcdv
!   write(3,*)"a12=",a12
    a13=0.
a14=0.
    a15=0.
    a16=0.
    a17=0.
    b1=(pv(tl)/2.)+hrvc(tl+1,j+1)*tc(tl)+hcva*tamb(tl)+106200.*
&ev*tve(tl,j+1)/dt
!   write(3,*)"b1=",b1
    a21=a12
!   write(3,*)"a21=",a21
    a22=hcdv+hrpv(tl+1,j+1)+hcdpv(tl+1,j+1)+106200.*ev/dt
!   write(3,*)"a22=",a22
    a23=-hrpv(tl+1,j+1)
!   write(3,*)"a23=",a23
a24=0.
a25=0.
    a26=0.
    a27=0.
    b2=(pv(tl)/2.)+106200.*ev*tvi(tl,j+1)/dt
!   write(3,*)"b2=",b2
    a31=0.
    a32=a23
!   write(3,*)"a32=",a32
    a33=hrpv(tl+1,j+1)+hcdpt*0.149+rop*cpp*ep/dt
!   write(3,*)"a33=",a33
a34=-hcdpt*0.149
!   write(3,*)"a34=",a34
a35=0.
    a36=0.
    a37=0.
    b3=pp(tl)+rop*cpp*ep*tp(tl,j+1)/dt
!   write(3,*)"b3=",b3
    a41=0.
    a42=0.
a43=a34
!   write(3,*)"a43=",a43
    a44=hcfp(tl+1,j+1)*0.9+(10191.6/dt)+hcdpt*0.149+hcdit*1.67
!   write(3,*)"a44=",a44
    a45=-hcfp(tl+1,j+1)*0.9

```

```

!   write(3,*)"a45=",a45
    a46=-hcdit*1.67
    a47=0.
    b4=(10191.6/dt)*tt(tl,j+1)
!   write(3,*)"b4=",b4
    a51=0.
    a52=0.
    a53=0.
    a54=a45
!   write(3,*)"a54=",a54
    a55=(q*cp(tl+1,j+1)/0.5369)+0.9*hcfp(tl+1,j+1)+0.56*hcfp(tl+1,j+1)
!   write(3,*)"a55=",a55
    a56=-0.56*hcfp(tl+1,j+1)
!   write(3,*)"a56=",a56
    a57=0.
    b5=(q*cp(tl+1,j+1)/0.5369)*tf(tl+1,j)
!   write(3,*)"b5=",b5
    a61=0.
    a62=0.
    a63=0.
    a64=a46
!   write(3,*)"a64=",a64
    a65=a56
!   write(3,*)"a65=",a65
    a66=hcdit*1.67+0.56*hcfp(tl+1,j+1)+0.4+5360./dt
!   write(3,*)"a66=",a66
    a67=-0.4
    b6=(5360./dt)*tii(tl,j+1)
    a71=0.
    a72=0.
    a73=0.
    a74=0.
    a75=0.
    a76=a67
    a77=5360./dt+hcva+0.4
    b7=hcva*tamb(tl)+5360.*tie(tl,j+1)/dt
!   write(3,*)"b6=",b6
c   gauss-siedel
    tve(tl+1,j+1)=310.
    tvi(tl+1,j+1)=312.
    tp(tl+1,j+1)=319.
    tt(tl+1,j+1)=316.
    tf(tl+1,j+1)=315.
    tii(tl+1,j+1)=312.
    tie(tl+1,j+1)=300.
30  stve(tl+1,j+1)=(b1-a12*tvi(tl+1,j+1)-a13*tp(tl+1,j+1)-a14*
    &tt(tl+1,j+1)-a15*tf(tl+1,j+1)-a16*tii(tl+1,j+1)-a17*tie(tl+1,j+1))
    &/a11
!   write(3,*)"stve=",stve(tl+1,j+1)
    stvi(tl+1,j+1)=(b2-a21*stve(tl+1,j+1)-a23*tp(tl+1,j+1)-a24*

```

```

&tt(tl+1,j+1)-a25*tf(tl+1,j+1)-a26*tii(tl+1,j+1)-a27*tie(tl+1,j+1))
&/a22
!   write(3,*)"stvi=",stvi(tl+1,j+1)
    stp(tl+1,j+1)=(b3-a31*stve(tl+1,j+1)-a32*stvi(tl+1,j+1)-a34*
&tt(tl+1,j+1)-a35*tf(tl+1,j+1)-a36*tii(tl+1,j+1)-a37*tie(tl+1,j+1))
&/a33
!   write(3,*)"stp=",stp(tl+1,j+1)
    stt(tl+1,j+1)=(b4-a41*stve(tl+1,j+1)-a42*stvi(tl+1,j+1)-a43*
&stp(tl+1,j+1)-a45*tf(tl+1,j+1)-a46*tii(tl+1,j+1)-a47*tie(tl+1,j+1)
&)/a44
!   write(3,*)"stt=",stt(tl+1,j+1)
    stf(tl+1,j+1)=(b5-a51*stve(tl+1,j+1)-a52*stvi(tl+1,j+1)-a53*
&stp(tl+1,j+1)-a54*stt(tl+1,j+1)-a56*tii(tl+1,j+1)-a57*
&tie(tl+1,j+1))/a55
!   write(3,*)"stf=",stf(tl+1,j+1)
    stii(tl+1,j+1)=(b6-a61*stve(tl+1,j+1)-a62*stvi(tl+1,j+1)-a63*
&stp(tl+1,j+1)-a64*stt(tl+1,j+1)-a65*stf(tl+1,j+1)-a67*
&tie(tl+1,j+1))/a66
!   write(3,*)"stii=",stii(tl+1,j+1)
    stie(tl+1,j+1)=(b7-a71*stve(tl+1,j+1)-a72*stvi(tl+1,j+1)-a73*
&stp(tl+1,j+1)-a74*stt(tl+1,j+1)-a75*stf(tl+1,j+1)-a76*
&stii(tl+1,j+1))/a77
!   write(3,*)"stie=",stie(tl+1,j+1)
!   write(3,*)"1"
    if((abs(stve(tl+1,j+1)-tve(tl+1,j+1)).le.1e-1).and.
&(abs(stvi(tl+1,j+1)-tvi(tl+1,j+1)).le.1e-1).and.
&(abs(stp(tl+1,j+1)-tp(tl+1,j+1)).le.1e-1).and.
&(abs(stt(tl+1,j+1)-tt(tl+1,j+1)).le.1e-1).and.
&(abs(stf(tl+1,j+1)-tf(tl+1,j+1)).le.1e-1).and.
&(abs(stii(tl+1,j+1)-tii(tl+1,j+1)).le.1e-1).and.
&(abs(stie(tl+1,j+1)-tie(tl+1,j+1)).le.1e-1))then
tve(tl+1,j+1)=stve(tl+1,j+1)
tvi(tl+1,j+1)=stvi(tl+1,j+1)
tp(tl+1,j+1)=stp(tl+1,j+1)
tt(tl+1,j+1)=stt(tl+1,j+1)
tf(tl+1,j+1)=stf(tl+1,j+1)
tii(tl+1,j+1)=stii(tl+1,j+1)
tie(tl+1,j+1)=stie(tl+1,j+1)
!   write(3,*)tl
!   write(3,*)"tamb(",7,")",tamb(7)
!   write(3,*)"stve(",tl+1,",",j+1,")=",stve(tl+1,j+1)-273.
!   write(3,*)"stvi(",tl+1,",",j+1,")=",stvi(tl+1,j+1)-273.
!   write(3,*)"stp(",tl+1,",",j+1,")=",stp(tl+1,j+1)-273.
!   write(3,*)"stt(",tl+1,",",j+1,")=",stt(tl+1,j+1)-273.
!   write(3,*)"stf(",tl+1,",",j+1,")=",stf(tl+1,j+1)-273.
!   write(3,*)"stii(",tl+1,",",j+1,")=",stii(tl+1,j+1)-273.
!   write(3,*)"stie(",tl+1,",",j+1,")=",stie(tl+1,j+1)-273.
!   else
tve(tl+1,j+1)=stve(tl+1,j+1)
tvi(tl+1,j+1)=stvi(tl+1,j+1)

```



```

tp(tl+1,j+1)=stp(tl+1,j+1)
tt(tl+1,j+1)=stt(tl+1,j+1)
tf(tl+1,j+1)=stf(tl+1,j+1)
tii(tl+1,j+1)=stii(tl+1,j+1)
tie(tl+1,j+1)=stie(tl+1,j+1)
goto 30
endif
*
*****
c   calcul des pertes
*****
rint(tl+1,j+1)=(hrpv(tl+1,j+1)+hcdpv(tl+1,j+1))**-1.
c   write(3,*)"rint=",rint(tl+1,j+1)
rext(tl+1,j+1)=(hcva+hrcv(tl+1,j+1))**-1.
c   write(3,*)"rext=",rext(tl+1,j+1)
uav(tl+1,j+1)=(rint(tl+1,j+1)+rext(tl+1,j+1))**-1.
c   write(3,*)"uav=",uav(tl+1,j+1)
ug(tl+1,j+1)=0.51868+uav(tl+1,j+1)
!   write(3,*)"ug=",ug(tl+1,j+1)
*
*****
c   le rendement de l'ailette
*****
m(tl+1,j+1)=(ug(tl+1,j+1)/(300*ep))**(1./2.)
c   write(3,*)"m=",m(tl+1,j+1)
n(tl+1,j+1)=m(tl+1,j+1)*0.027
c   write(3,*)"n=",n(tl+1,j+1)
f(tl+1,j+1)=tanh(n(tl+1,j+1))/n(tl+1,j+1)
c   write(3,*)"f=",f(tl+1,j+1)
*
*****
c   le rendement de collection
*****
x(tl+1,j+1)=(ug(tl+1,j+1)*(0.02+0.08*f(tl+1,j+1)))**-1.
c   write(3,*)"x=",x(tl+1,j+1)
y(tl+1,j+1)=(0.018*3.14*hcfp(tl+1,j+1))**-1.
c   write(3,*)"y=",y(tl+1,j+1)
z(tl+1,j+1)=(x(tl+1,j+1)+y(tl+1,j+1)+0.04)
c   write(3,*)"z=",z(tl+1,j+1)
w(tl+1,j+1)=ug(tl+1,j+1)*0.1
c   write(3,*)"w=",w(tl+1,j+1)
fc(tl+1,j+1)=(w(tl+1,j+1)*z(tl+1,j+1))**-1
c   write(3,*)"fc=",fc(tl+1,j+1)
*
*****
c   facteur de récupération de la chaleur
*****
x1(tl+1,j+1)=1-(exp((-ug(tl+1,j+1)*fc(tl+1,j+1))/(q*cp(tl+1,j+1)))
&)
c   write(3,*)"x1=",x1(tl+1,j+1)

```

```

fr(tl+1,j+1)=(q*cp(tl+1,j+1)/ug(tl+1,j+1))*x1(tl+1,j+1)
! write(3,*)"Fr=",fr(tl+1,j+1)
*****
c la puissance utile *
*****
qu(tl+1,j+1)=fr(tl+1,j+1)*(pp(tl)-ug(tl+1,j+1)*(tfe-tamb(tl)))
! write(3,*)"Qu=",Qu(8,1)
*****
c le rendement optique *
*****
no(tl+1,j+1)=pp(tl)/Ig(tl)
c write(3,*)"no=",no(tl+1,j+1)
*****
c le rendement thermique *
*****
c nth(tl+1,j+1)=qu(tl+1,j+1)/Ig(tl)
nth(tl+1,j+1)=fr(tl+1,j+1)*(no(tl+1,j+1)-ug(tl+1,j+1)*
&(tfe-tamb(tl))/Ig(tl))
write(3,*)"nth(",tl+1,",",j+1,")=",nth(tl+1,j+1)*100.
20 continue
10 continue
pvmy=(pv(7)+pv(8)+pv(9)+pv(10)+pv(11)+pv(12)+pv(13)+
&pv(14)+pv(15)+pv(16)+pv(17)+pv(18)+pv(19))/13.
c write(3,*)"pvmy',pvmy
ugm=(ug(8,1)+ug(9,1)+ug(10,1)+ug(11,1)+ug(12,1)+
&ug(13,1)+ug(14,1)+ug(15,1)+ug(16,1)+ug(17,1)+ug(18,1)
&)/11.
! write(3,*)"ugm',ugm
uam=(uav(8,1)+uav(9,1)+uav(10,1)+uav(11,1)+uav(12,1)+
&uav(13,1)+uav(14,1)+uav(15,1)+uav(16,1)+uav(17,1)+uav(18,1)
&)/11.
! write(3,*)"uam',uam
Igmy=(Ig(7)+Ig(8)+Ig(9)+Ig(10)+Ig(11)+Ig(12)+Ig(13)+
&Ig(14)+Ig(15)+Ig(16)+Ig(17)+Ig(18)+Ig(19))/13.
! write(3,*)"Igmy',Igmy
ppmy=(pp(7)+pp(8)+pp(9)+pp(10)+pp(11)+pp(12)+pp(13)+
&pp(14)+pp(15)+pp(16)+pp(17)+pp(18)+pp(19))/13.
c write(3,*)"ppmy',ppmy
nom=ppmy/pgmy
! write(3,*)"nom=",nom*100.
Qumy=(qu(7,1)+qu(8,1)+qu(9,1)+qu(10,1)+qu(11,1)+qu(12,1)+qu(13,1)+
&qu(14,1)+qu(15,1)+qu(16,1)+qu(17,1)+qu(18,1)+qu(19,1))/13.
! write(3,*)"qumy=",qumy
nthm=Qumy/Igmy
! mm(tl)=(tfe-tamb(tl))/Ig(tl)
! write(3,*)"mm(tl)=",mm(tl)
write(3,*)"nthm=",nthm*100.
close(3)
stop
end

```

## Résumé

Le but de ce travail est d'étudier le modèle d'un capteurs solaire (capteur solaire sous-vide) , en vue d'être utilisé à des plus de climatisation car ce système est considéré très bénéfique pour tout système de climatisation, tout en utilisant un dispositif d'orientation des capteurs.

Cette étude a été élaborée pour la région de Ouargla (sud d'Algérie), car cette région se caractérise pour un climat sec et chaud et par la disponibilité de l'énergie solaire (rayonnement) tout au long de l'année.

Un modèle numérique a été mis au point, afin d'étudier l'influence de certains paramètres, les plus importants, tels que le temps, l'écart de température ( $\Delta T$ ) sur le rayonnement global  $((T_{fe}-T_a)/I_G)$  , l'inclinaison du capteur ( $\beta$ ), rayonnement global ( $I_G$ ), sur la performance (rendement instantané) du capteurs sous-vide.

Comme jour de calcul, on a opté pour le **15 juillet 2001**, afin qu'on puisse comparer nos résultats théoriques avec ceux obtenus préalablement en utilisant les capteurs plans.

### Mots clés :

Rayonnement, Capteur solaire sous-vide, modélisation, climatisation, simulation numérique ,rendement instantané.

## **Abstract**

The aim of this work is to study the model of a solar collector ( solar collector with vacuum ) ,in order to be used for air-condoning purpose ,as this system is considered very useful for any air-condoning system, using an orientation system of the collectors.

This study, has been carried out, considering the area of OUARGLA la (south of Algeria ), as this area is characterized by a dry and hot climate, and the availability of the solar energy (radiation) all over the year.

A model has been set up, in order to study the Impact of some parameters, the most important, such as the time, the temperature different , the deferent temperature ( $\Delta T$ ) at le radiation( $(T_{fe}-T_a)/I_G$ ), the inclination angle ( $\beta$ ), on the performance (instantaneous efficiency) of the collector.

As a study day, we have chosen 15<sup>th</sup> July, in order to us comparing our results with these obtained previously, using a plate solar collector.

### **Key words:**

Radiation, Evacuated Tubular Collectors, modeling, air-conditioning, simulated numeric, instantaneous efficiency.

## ملخص

الهدف من هذا العمل هو دراسة نموذج من اللاقط الشمسي (لاقط شمسي تحت التفريغ) و المستعمل بكثرة لغرض التكييف, مثل هذا النظام يعتبر مفيد جدا لتكييف أي نظام جوي حيث يستعمل النظام بتوجيه اللاقط (المجمع).

نختار منطقة ورقلة (جنوب الجزائر), حيث ورقلة تتميز بمناخ جاف و حار صيفا. وتوفر الطاقة الشمسية (الإشعاع) على مدار السنة.

نموذج رقمي يعطي من أجل دراسة تأثير بعض العناصر, مثل الزمن, زاوية ميل اللاقط على المستوى الأفقي, العلاقة  $((T_{fe}-T_a)/I_G)$ , الإشعاع الكلي اللاقط, للحصول على مردود لحظي.

كيوم نموذجي نختار 15 جويلية لمقارنة النتائج النظرية مع النتائج المحصل عليها للاقط شمسي عادي.

### الكلمات الأساسية

الإشعاع, لاقط شمسي تحت التفريغ, ,تكييف, برنامج آلي تشكيلي, مردود لحظي

## **Résumé**

Le but de ce travail est d'étudier le modèle d'un capteurs solaire (capteur solaire sous-vide) , en vue d'être utilisé à des plus de climatisation car ce système est considéré très bénéfique pour tout système de climatisation, tout en utilisant un dispositif d'orientation des capteurs.

Cette étude a été élaborée pour la région de Ouargla (sud d'Algérie), car cette région se caractérise pour un climat sec et chaud et par la disponibilité de l'énergie solaire (rayonnement) tout au long de l'année.

Un modèle numérique a été mis au point, afin d'étudier l'influence de certains paramètres, les plus importants, tels que le temps, l'écart de température ( $\Delta T$ ), entre la vitre et l'absorbeur, l'inclinaison du capteur ( $\beta$ ), la centre de l'absorbeur et l'épaisseur de la vitre sur la performance (rendement instantané) du capteurs sous-vide.

Comme jour de calcul, en a opté pour le **15 juillet 2001**, afin qu'on puisse comparer nos résultats théoriques avec aux obtenus préalablement en utilisant les capteurs plans.

### **Mots clés :**

Rayonnement, Capteur solaire sous-vide, modélisation, climatisation, simulation numérique ,rendement instantané.

## **Abstract**

The aim of this work is to study the model of a solar collector ( solar collector with vacuum ) ,in order to be used for air-condoning purpose ,as this system is considered very useful for any air-condoning system, using an orientation system of the collectors.

This study, has been carried out, considering the area of OUARGLA la (south of Algeria ), as this area is characterized by a dry and hot climate, and the availability of the solar energy (radiation) all over the year.

A model has been set up, in order to study the Impact of some parameters, the most important, such as the time, the temperature different between the glass and the absorber, the inclination angle, the absorber thickness and the glass thickness on the performance (instantaneous efficiency) of the collector.

As a study day, we have chosen 15<sup>th</sup> July, in order to us comparing our results with these obtained previously, using a plate solar collector.

### **Key words:**

Radiation, solar collector with vacuum, modeling, air-conditioning, simulated numeric, instantaneous efficiency.