

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou

Faculté du Génie de la Construction

Département de Génie Mécanique



Mémoire de fin d'étude

En vue de l'obtention du Diplôme de Master Professionnel
Spécialité : Energétique

Option : Froid, Chauffage et Climatisation

Thème

Etude paramétrique d'un chauffe- eau
solaire plan

Proposé et dirigé par :

Mr. NEBBALI Rezki

Mr. KECILI Idir

Réalisé par :

Mr. KHELOUI Lamine

Mr. KHELIFI Nabil

Promotion: 2018/2019

REMERCIEMENTS

REMERCIEMENTS

Tout d'abord, nous tenons à remercier le bon DIEU tout puissant de nous avoir donné le courage, la patience et le pouvoir d'achever ce travail.

*On tient à remercier très chaleureusement notre promoteur **Mr NEBBALI REZKI** qui nous a guidé et soutenu tout au long de notre travail, et qui n'a jamais manqué de nous orienter et de nous conseiller. Qu'il trouve ici l'expression de notre respect et de notre profonde reconnaissance*

*Nous exprimons notre profonde gratitude à **Mr KECILI Idir**, doctorant à l'université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, pour ses précieux conseils et sa disponibilité.*

Nos remerciements s'dressent aussi au président et aux membres de jury pour l'intérêt qu'ils portent à ce travail et pour l'honneur qu'ils nous font en acceptant d'examiner et de juger notre travail.

Un profond remerciement à toute notre promotion et toute personne ayant aidé de près ou de loin à l'achèvement de ce travail. Et tout nos amis qui avec leur bonneté et leur honnêteté sont devenus notre deuxième famille en espérant que nos chemins ne cesseront de se croiser.

Pour finir, nous ne pourrons jamais assez remercier nos parents qui se sont dévoués plus que jamais pour nous avoir offert toutes les conditions propices à notre épanouissement, sans oublier nos frères et sœurs pour les quels ces quelques lignes ne peuvent exprimer notre profonde estime.

Dédicaces

Dédicaces

JE Dédie CE modeste travail à :

Mes très chers parents

Mes frères et mes sœurs

Toute la famille kheloui.

Mes amis et amies

*Tous ceux qui ont m'ont aidé de pré ou du loin pour l'élaboration
de ce travail.*

Les étudiants de ma promotion FCC.

Lamine.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

Mes chers parents, que nulle dédicace ne puisse exprimer mon sincère sentiment, pour leur patience illimitée, leur encouragement contenu, leur aide, en témoignage de mon profond amour et respect pour leurs grands sacrifices.

Mes chers frères et sœurs pour leur soutien moral.

Ma famille, mes proches.

A tous mes amis qui m'ont toujours encouragé, et à qui je souhaite plus de succès.

Nabil.

SOMMAIRE

Sommaire

Introduction générale

Introduction générale.....	1
----------------------------	---

Chapitre I Gisement solaire

1	Introduction.....	3
2	Le soleil.....	3
3	Le mouvement de la terre	4
4	La course du soleil dans le ciel	4
4.1	Coordonnées géographiques	4
4.1.1	La latitude (Φ°)	5
4.1.2	La longitude (L°).....	5
4.1.3	Altitude (z):.....	5
4.1.4	Le Méridien.....	5
4.2	Les Coordonnée célestes horaires	6
4.2.1	La déclinaison du soleil (δ)	6
4.2.2	L'angle horaire (ω).....	6
4.3	Les Coordonnée célestes horizontales	6
4.3.1	Hauteur du soleil (h).....	6
4.3.2	Azimut du soleil (χ, A).....	7
4.3.3	Angle zénithal θ_z	7
5	Angle d'incidence :	7
6	Rayonnement solaire	8
6.1	Constante solaire	9
6.2	Rayonnement incident à la limite de l'atmosphère	9
6.3	Rayonnement incident à l'intérieur de l'atmosphère:.....	9
6.3.1	Composition de l'atmosphère	9
6.3.2	Masse d'air	10
6.3.3	Influence de l'atmosphère sur le rayonnement solaire	11
6.3.3.1	Absorption	11
6.3.3.2	Diffusion	11
6.3.4	Evaluation du flux solaire	12
7	Angle d'inclinaison optimal d'un panneau solaire	15
8	Rayonnement solaire en Algérie	15
	Conclusion	15

Sommaire

Chapitre II Notion sur les capteurs solaires thermiques

1	Introduction.....	16
2	Conversion thermique.....	16
3	Principe de fonctionnement d'un capteur solaire thermique	16
4	Composants des capteurs solaires thermiques.....	17
4.1	Le transfert d'énergie.....	17
4.2	Le stockage	17
5	Les différents modèles des capteurs solaires thermiques	17
5.1	Les capteurs à eau	17
5.1.1	Les capteurs solaires plans	18
5.1.1.1	Les capteurs plans sans vitrage	18
5.1.1.2	Les capteurs plans vitrés	18
5.1.2	Les capteurs sous vide.....	19
5.1.3	Capteur à concentration	20
5.2	Capteurs à air	20
6	Constituants d'un capteur solaire plan	20
6.1	Une couverture transparente.....	21
6.2	Partie absorbante.....	21
6.3	Fluide caloporteur.....	21
6.4	L'isolation thermique	22
6.4.1	Partie avant de l'absorbeur	22
6.4.2	Parties arrière et latérale	22
6.5	Le coffre	22
7	L'utilisation des capteurs	22
8	L'orientation des capteurs.....	23
8.1	Des capteurs fixes :.....	23
8.2	Des capteurs à poursuite	23
9	Principe de l'effet de serre	23
10	L'effet thermosiphon :.....	24
11	Energie d'appoint	24
12	Le raccordement des capteurs	24
12.1	Raccordement en série.....	24
12.2	Raccordement en parallèle.....	25

Sommaire

12.3	Raccordement mixte	25
13	Différents types de chauffe-eau solaire	25
13.1	Les chauffe-eau monobloc	25
13.2	Les chauffe-eau à thermosiphon :.....	26
13.3	Les chauffe-eau à circulation forcée	27
13.4	Les chauffe-eau auto vidange :.....	27
14	Le chauffage solaire des piscines en plein air	27
15	Avantages et inconvénients des panneaux solaires thermiques	28

Chapitre III Simulation numérique d'un capteur solaire thermique

1	Introduction.....	30
2	Position du problème	30
3	Bilans thermiques.....	30
3.1	Bilan thermique de la vitre	30
3.2	Bilan thermique de l'absorbeur	34
3.3	Bilan thermique de l'eau du capteur.....	35
3.4	Bilan thermique de réservoir	36
4	Détermination des coefficients d'échange thermique	37
4.1	Conductance thermique à travers l'isolant	37
4.2	Conduction thermique à travers la couche isolante du réservoir.....	37
5	Calcule l'épaisseur de l'isolation de réservoir cylindrique	38
6	Système d'équations obtenu.....	40
7	Résolutions de système d'équation	41
7.1	Discrétisation des équations	41
7.2	Résolution du système des équations discrétisées.....	41
8	Simulation.....	42
9	Organigramme de calcul	44
10	Caractéristiques du capteur étudié.....	45
11	Résultats et interprétations	45
	Conclusion	63
	Conclusion générale	
	Conclusion générale.....	64

*LISTE DES FIGURES
ET TABLEAUX ET
NOMENCLATURE*

Figure	Intitulée	Page
I.1	Vue du soleil	3
I.2	Le mouvement de la terre autour du soleil	4
I.3	coordonnées géographiques	5
I.4	Coordonnées horizontales	7
I.5	Angle d'incidence	8
I.6	Spectre du rayonnement solaire reçu hors atmosphère	8
I.7	La structure de l'atmosphère	10
I.8	Le rayonnement solaire et le nombre masse d'air	11
I.9	Composantes du rayonnement solaire	12
I.10	La géométrie d'un plan incliné d'un angle β_1 par rapport à l'horizontale	13
I.11	Carte de l'irradiation solaire en Algérie	15
II.1	processus dans un capteur solaire plan	16
II.2	Capteurs plans sans vitrage	18
II.3	Capteur plan vitré	19
II.4	Capteur sous vide	19
II.5	Schéma d'un capteur à air à plan incliné	20
II.6	Illustre de l'effet de serre dans un capteur	24
II.7	chauffe eau solaire monobloc	26
II.8	schéma d'un système à thermosiphon	26
II.9	système à circulation forcée	27
II.10	Le chauffage solaire des piscines	28
III.1	Vue d'ensemble du capteur solaire	30
III.2	répartition de rayonnement solaire à travers la vitre	33
III.3	réservoir du stockage	36
III.4	Face latérale du réservoir	37
III.5	Schéma des transferts dans un cylindre creux multicouches	38
III.6	Organigramme de calcul	44
III.7	panneau solaire thermique	45
III.8	Evolution de l'intensité de rayonnement solaire et la température de l'air au cours de la Journée du 21 DECEMBRE	49
III.9	Evolution de l'intensité de rayonnement solaire et la température de l'air au cours de la Journée du 21 MARS	50
III.10	Evolution de l'intensité de rayonnement solaire et la température de l'air au cours de la Journée du 21 JUIN	50

Liste des figures

III.11	Evolution de l'intensité de rayonnement solaire et la température de l'air au cours de la Journée du 21 SEPTEMBRE	51
III.12	Evolution de température de l'eau du réservoir 50L au cours du temps	53
III.13	Evolution de température de l'eau du réservoir 100L au cours du temps	54
III.14	Evolution de température de l'eau du réservoir 150L au cours du temps	54
III.15	Evolution de température de l'eau du réservoir 200L au cours du temps	55
III.16	Evolution de température de l'eau du réservoir 50L au cours du temps	56
III.17	Evolution de température de l'eau du réservoir 100L au cours du temps	56
III.18	Evolution de température de l'eau du réservoir 150L au cours du temps	57
III.19	Evolution de température de l'eau du réservoir 200L au cours du temps	57
III.20	Evolution de température de l'eau du réservoir 50L au cours du temps	58
III.21	Evolution de température de l'eau du réservoir 100L au cours du temps	59
III.22	Evolution de température de l'eau du réservoir 150L au cours du temps	59
III.23	Evolution de température de l'eau du réservoir 200L au cours du temps	60
III.24	Evolution de température de l'eau du réservoir 50L au cours du temps	61
III.25	Evolution de température de l'eau du réservoir 100L au cours du temps	61
III.26	Evolution de température de l'eau du réservoir 150L au cours du temps	62
III.27	Evolution de température de l'eau du réservoir 200L au cours du temps	62

Liste des tableaux

Tableau	Titre	page
I.1	Les valeurs de la puissance surfacique	9
I.2	Coefficients de trouble du ciel	13
I.3	Valeurs typiques de l'albédo du sol	14
III.1	coefficient n et C	39
III.2	Conductivité thermique de certains matériaux	40
III.3	LA Vitesse du vent	46
III.4	Evolution du la température de l'air au cours de la Journée	46
III.5	Evolution du la température de l'air au cours de la Journée	46
III.6	Evolution du l'intensité de rayonnement solaire au cours de la Journée (AOA= 34°)	47
III.7	Evolution du l'intensité de rayonnement solaire au cours de la Journée (AOA= 34°)	47
III.8	Evolution du l'intensité de rayonnement solaire au cours de la Journée(AOM)	48
III.9	Evolution du l'intensité de rayonnement solaire au cours de la Journée(AOM)	48
III.10	épaisseur de l'isolant de réservoir	51
III.11	propriété du capteur étude	52

NOMENCLATURE		
Caractère	Signification	Unité
Caractères latins majuscules		
Si	Surface de composant i	m ²
C _{pi}	Chaleur spécifique	J/kg.K
D _h	Diamètre hydraulique	m
G	Eclairement solaire	W/m ²
T _a	Température de l'air	°C
T _p	Température de l'absorbeur	°C
T _g	Température de la vitre	°C
T _e	Température de l'eau	°C
T _v	Température de la voute céleste	°C
T _r	Température du réservoir	°C
F _{pg}	Facteur de forme	-
K _i	Conductance thermique	(W/m ² .K)
K _{ia}	Conductance globale	(W/m ² .K)
K _{r2}	coefficient d'échange par conduction à travers la face latérale du réservoir	(W/m.K)
K _{r3}	coefficient d'échange par conduction à travers deux faces planes du réservoir	(W/m ² .K)
V _{vent}	Vitesse du vent	(m/s)
N	le quantième jour de l'année.	
I ₀	Constante solaire	(W/m ²)
L	Longitude	(°)
Z	Altitude	(m)
R _{TH}	Resistance thermique	m ² .K/w
C _m	chaleur massique	J /kg.K
M	masse	Kg
Caractères latins minuscules		
E _i	Epaisseur de composant i	(m)
R	Rayon moyen	(m)
h _e	Coefficient d'échange convectif externe	(W/m ² .K)
ṁ	Débit	Kg/s
h _i	Coefficient d'échange convectif interne	(W/m ² .K)
h _{ga}	coefficient d'échange par convection entre la vitre et le milieu ambiant	(W/m ² .K)
h _{ge}	Coefficient d'échange par convection entre la vitre et l'absorbeur	(W/m ² .K)

NOMENCLATURE

h_{pe}	coefficient d'échange par convection entre l'absorbeur et l'eau	(W/m ² .K)
C^*	constante solaire	W/m ²
Caractères grecques		
ϕ	Latitude	(°)
φ	Flux de chaleur	(W)
ϕ_{sl}	Rayonnement solaire, de courte longueur d'onde (CLO), absorbé par la vitre	(W)
ϕ_{gv}	Rayonnement net de grande longueur d'onde (GLO) échangé entre la vitre et la voûte céleste	(W)
ϕ_{ga}	Flux de chaleur convectif échangé entre la face supérieure de la vitre et l'air ambiant	(W)
ϕ_{gp}^r	Rayonnement net GLO échangé entre la vitre et l'absorbeur	(W)
ϕ_{ge}^c	Flux de chaleur convectif échangé entre la vitre et l'eau	(W)
ϕ_{sl2}	Rayonnement solaire, de courte longueur d'onde(CLO), absorbé par l'absorbeur	(W)
ϕ_{pe}^c	Flux de chaleur convectif échangé entre l'absorbeur et l'eau	(W)
ϕ_{ia}	Flux de chaleur perdu par le côté inférieur du capteur	(W)
ϕ_e^c	La variation d'énergie interne de l'eau	(W)
ϕ_{r1}	Flux apporté par l'eau du réservoir	(W)
ϕ_{r2}	Flux échangé par conduction entre l'eau du réservoir et le milieu ambiant à travers la face latérale de réservoir	(W)
ϕ_{r3}	Flux échangé par conduction entre l'eau du réservoir et le milieu ambiant à travers les deux faces planes du réservoir	(W)
δ	Déclinaison de soleil	(°)
Ω	Angle horaire	(°)
X	L'azimut de soleil	(°)
θz	Angle zénithale	(°)
α	absorptivité	-
τ	transmissivité	-
E	émissivité	-
σ	Constante de STEFAN-BOLTZMANN	(W/m ² .K ⁻⁴)
λ	Conductivité thermique	(W/m.K)
γ	Hauteur solaire	(°)
ρf	la masse volumique du fluide	(kg/m ³)
μf	la viscosité dynamique de fluide	(Kg/m.s)

Nombre adimensionnels		
Pr	Nombre de Prandtl	-
Nu	Nombre de Nusselt	-
Re	Nombre de Reynolds	-
Les abréviations		
TSV	Temps Solaire Vrai	h
UV	Ultra violée	-
IR	Infrarouge	-
CLO	Courte longueur d'onde	-
GLO	grande longueur d'onde	-
AOA	Angle optimal annuel	°
AOM	Angle optimal mensuel	°

*Introduction
générale*

Introduction générale

L'énergie est la base de toute activité humaine. De nos jours la consommation énergétique mondiale ne cesse d'augmenter. La plus grande partie de cette énergie provient des combustibles fossiles (pétrole, gaz naturel, charbon,...etc.)

L'utilisation massive de ces énergies qui conduira inéluctablement à leur épuisement constitue une menace réelle pour l'environnement. Cette menace s'est manifestée principalement à travers la pollution et le réchauffement global de la terre par effet de serre.

Il est de rigueur de consommer rationnellement les énergies conventionnelles et de développer les énergies renouvelables qui sont inépuisables et propre.

L'énergie renouvelable la plus dominante est l'énergie solaire. Les applications d'énergie solaire sont très diverses, on peut citer entre autres: l'éclairage solaire, le séchage solaire, la distillation solaire et la production d'eau chaude sanitaire...

Le chauffe-eau solaire est aujourd'hui « l'outil solaire » le plus développé dans le monde. Dans les pays industrialisés, cette application solaire a connu un développement très important. L'industrie développée a permis la construction de chauffe-eau solaires très performants avec des coûts de fabrication et d'installations intéressantes.

L'utilisation de l'énergie solaire la plus simple et la plus directe, est la production d'eau chaude sanitaire. Le fonctionnement d'un système de chauffage solaire contient trois parties indispensables (la captation, le stockage et la distribution). La captation est la partie essentielle pour la conversion de l'énergie solaire. Elle est représentée par le capteur solaire.

C'est ce dernier qui transforme l'énergie solaire en quantité de chaleur qu'il transmet au fluide caloporteur circulant dans son absorbeur.

Dans le cadre de ce travail, on s'est intéressé à l'exploitation de l'énergie solaire par voie thermique en utilisant un capteur solaire plan pour la production d'eau chaude. Une étude paramétrique est menée sous les conditions climatiques prévalant à Tizi-Ouzou durant les périodes de solstices et d'équinoxes (21 MARS, 21 JUIN, 21 SEPTEMBRE, 21 DECEMBRE).

Notre travail est scindé en trois chapitres.

- Le premier chapitre consiste à l'étude du gisement solaire avec une présentation de quelques notions et définitions relatives à l'énergie solaire.
- Le deuxième chapitre porte sur les capteurs solaires. Différents types des capteurs solaires thermiques sont recensés avec leurs modes de fonctionnements.

-Le troisième chapitre traite les bilans thermiques du capteur solaire. Les équations issues de ces bilans, intégrant les échanges convectifs et radiatifs, sont ensuite résolues numériquement pour étudier l'évolution de la température d'eau du réservoir de stockage au cours de la journée.

Chapitre I
Gisement solaire

1 Introduction

L'énergie solaire fait partie des nouvelles sources d'énergie, c'est une énergie disponible intermittente et propre.

Le soleil déverse sur terre une puissance équivalente à 10000 fois la consommation de l'humanité entière avec une espérance de vie de plusieurs milliards d'années. Pour rendre l'énergie solaire utile, des chaînes de convertisseurs doivent être construites pour la faire parvenir à l'utilisateur final (sous la forme thermique mécanique ou électrique).

Dans ce chapitre nous avons présenté des rappels sur l'énergie solaire, les différents paramètres qui influent sur l'intensité du flux solaire reçu au niveau du sol.

2 Le soleil

Le soleil est l'étoile centrale de notre système solaire. D'après la classification astronomique, notre étoile est de type nain jaune, elle est composée essentiellement **d'hydrogène** (78.4% de la masse) et **d'hélium** (19.6% de la masse), les 2% restant étant composé d'autres éléments chimiques dont les principaux sont l'oxygène et le carbone. Sa température du cœur est de l'ordre de 10^7 K, les réactions de fusion nucléaire y transforment l'hydrogène en hélium en libérant 4.109 kg/s d'énergie de masse. [1]

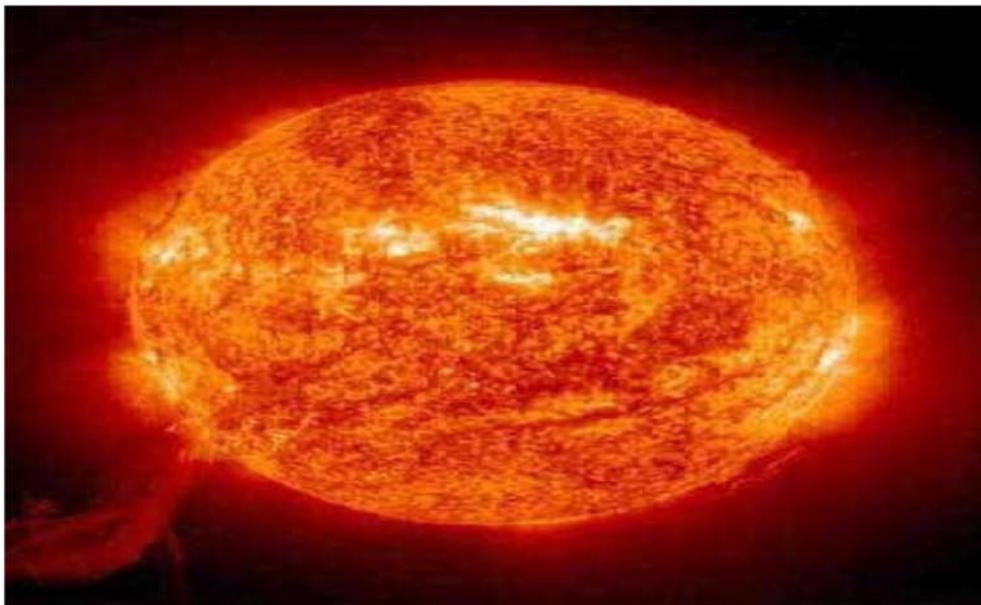


Figure I.1: Vue du soleil. [1]

3 Le mouvement de la terre [1]

Dans son mouvement autour du soleil, la terre décrit une ellipse dont le soleil est l'un de ses foyers, la révolution complète s'effectue en une période de 365,25 jours. Le plan de cette ellipse est appelé l'écliptique.

C'est au solstice d'hiver (21 décembre) que la terre est la plus proche du soleil, soit 147 millions km entre eux. Au 22 juin la distance terre-soleil vaut 152 millions km, c'est le jour où la terre est la plus éloignée, c'est le solstice d'été. Le 21 mars et le 21 septembre sont appelés respectivement équinoxes de printemps et équinoxe d'automne. Aux équinoxes les durées de jour et de la nuit sont égales.

En plus de sa rotation autour du soleil, la terre tourne également sur elle-même autour d'un axe appelé l'axe des pôles. Cette rotation s'effectue en une journée. Le plan perpendiculaire à l'axe des pôles et passant par le centre de la terre est appelé l'équateur.

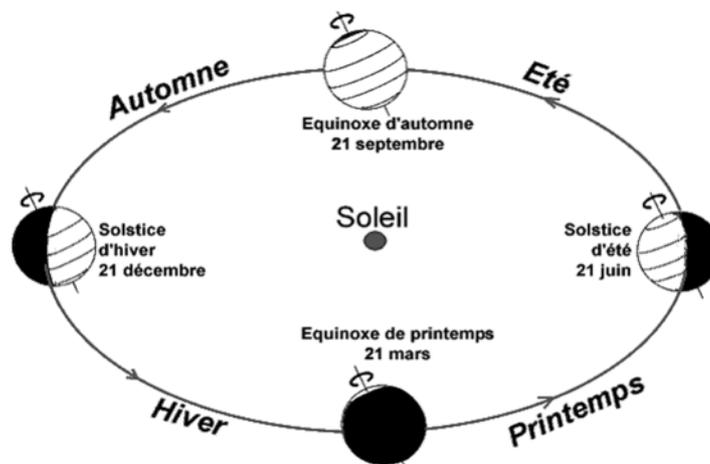


Figure I.2 : Le mouvement de la terre autour du soleil. [1]

4 La course du soleil dans le ciel

Les rotations de la terre sur elle-même et autour du soleil, font en sorte que celui-ci apparait à chaque instant sur un point différent dans le ciel, décrivant des trajectoires sous forme d'arc de cercle.

4.1 Coordonnées géographiques [2]

Pour déterminer la position du soleil dans le ciel à partir d'un point quelconque sur la terre, il est nécessaire de définir les coordonnées géographiques de ce point.

4.1.1 La latitude (Φ°):

Elle donne la localisation d'un point par rapport à l'équateur, elle varie entre 0° et 90° positivement vers le pôle nord et négativement vers le pôle sud. Si $\Phi > 0$, le site se trouve dans l'hémisphère nord, sinon le site est dans l'hémisphère sud. Pour la ville de Tizi-Ouzou :

$$\Phi = 36^\circ 42' 42'' \text{ Nord.}$$

4.1.2 La longitude (L°)

la longitude d'un lieu donnée est l'angle formé par le méridien de ce lieu avec le méridien d'origine (méridien de Greenwich) $^\circ$, elle est comptée de 0° à 180° , positivement vers l'est et négativement vers l'ouest. Pour la ville de Tizi-Ouzou : $L = 4^\circ 02' 45'' \text{ Est.}$

4.1.3 Altitude (z):

L'altitude est l'élévation d'un lieu par rapport au niveau de la mer, mesurée en mètre (m). Pour la ville de Tizi-Ouzou : $z = 206 \text{ m.}$

4.1.4 Le Méridien

Demi-cercle de la terre passant par les pôles. Tous les points d'un même méridien ont évidemment la même longitude, le méridien pris pour origine (0°) des longitudes est celui de Greenwich. Le plan méridien en un lieu est déterminé par ce lieu et l'axe des pôles.

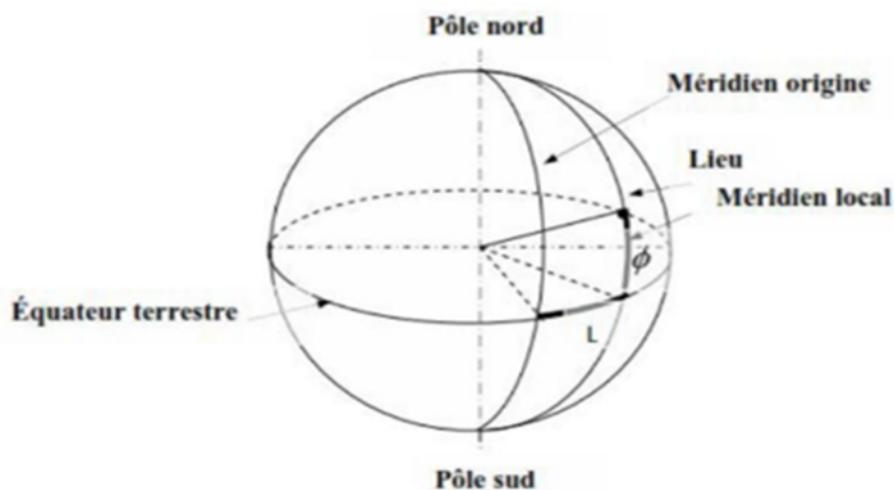


Figure I.3 : coordonnées géographiques. [2]

4.2 Les Coordonnée célestes horaires [3]

4.2.1 La déclinaison du soleil (δ) :

La déclinaison est l'angle que fait la direction terre-soleil avec sa projection sur le plan équatorial. Elle traduit l'inclinaison du plan équatorial par rapport au plan écliptique. C'est aussi l'angle entre l'axe des pôles et l'axe vertical passant par le centre de la terre, il varie d'une journée à une autre, la valeur minimale est $-23^{\circ}27'$ et la valeur maximale est $+23^{\circ}27'$.

En considérant la déclinaison comme constante sur une journée, l'équation de **Kopernic** fournit la relation qui relie ces deux grandeurs :

$$\delta = 23.45 \sin \left[\frac{360}{365} \cdot (N + 284) \right]$$

Avec:

N : le quantième jour de l'année.

4.2.2 L'angle horaire (ω)

Il est déterminé par la rotation régulière de la terre autour de son axe. C'est l'arc de la trajectoire solaire compris entre le soleil et le plan méridien du lieu, il est négatif avant que le soleil arrive au sud, nul au sud et positif après avoir passer le sud. L'angle horaire est donné par la relation suivante :

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

Avec :

TSV : Temps Solaire Vrai.

4.3 Les Coordonnée célestes horizontales

Le repère horizontal est formé par le plan de l'horizon astronomique et la verticale du lieu. Dans ce repère les coordonnées du soleil sont [4].

4.3.1 Hauteur du soleil (h)

La hauteur du soleil est l'angle formé par la direction du soleil et sa projection sur le plan horizontal. Il est particulièrement égal à 0° au lever et au coucher astronomiques du soleil, et il est maximum à midi en temps solaire vrai. L'expression de la hauteur du soleil est donnée par :

$$\sin (h) = \sin (\Phi) \sin (\delta) + \cos (\Phi) \cos (\delta) \cos (\omega)$$

4.3.2 Azimut du soleil (χ , A)

C'est l'angle compris entre la projection de la direction du soleil sur le plan horizontal et la direction sud ou nord. Il est mesuré commençant par le nord ou par le sud soit vers l'est soit vers l'ouest à travers un axe de 360° (l'azimut est compris entre $-180^\circ \leq \chi \leq 180^\circ$). Dans l'hémisphère nord, l'origine des azimuts correspond à la direction du sud. L'angle d'azimut est compté positivement vers l'ouest et négativement vers l'est.

Dans l'Atlas Solaire de l'Algérie, **Capderou** a utilisé la formule suivante pour calculer l'azimut du soleil:

$$\sin \chi = \frac{\cos \delta \cos \omega \sin \varphi - \sin \delta \cos \varphi}{\cos \gamma}$$

4.3.3 Angle zénithal θ_z

C'est l'angle entre le zénith local et la ligne joignant l'observateur et le soleil. Il varie de 0 à 90°

$$\theta_z = 90 - h$$

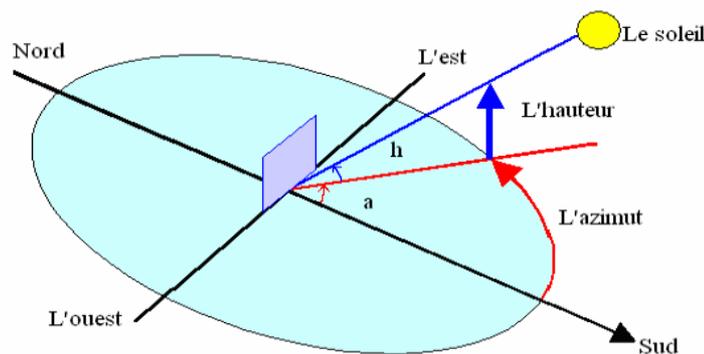


Figure I.4 : Coordonnées horizontales. [4]

5 Angle d'incidence :

C'est l'angle que fait le rayonnement émis directement sur le plan de réception avec la normale de ce plan [5]

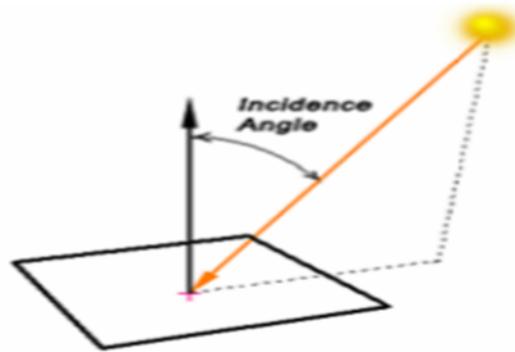


Figure I.5 : Angle d'incidence. [5]

6 Rayonnement solaire [3]

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

L'énergie, E_{ph} , de chaque photon est directement liée à la longueur d'onde λ par la relation:

$$E_{ph} = hC/\lambda$$

Où h est la constante de Planck, $h = 6,62.10^{-34} \text{ J.s}$

La terre reçoit une partie de ce rayonnement, le flux énergétique reçu par la terre est appelé éclairement énergétique, abrégé en éclairement.

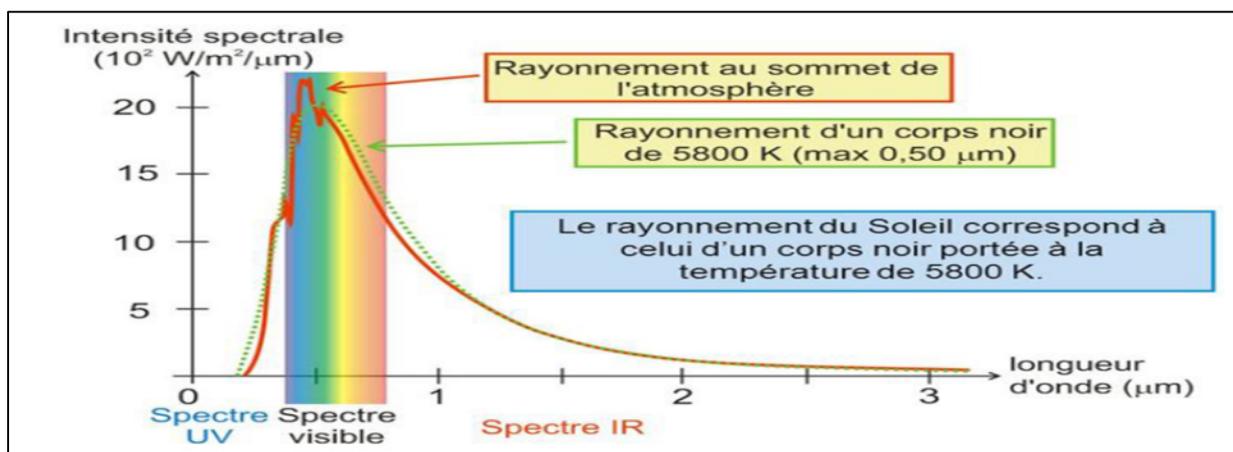


Figure I.6. Spectre du rayonnement solaire reçu hors atmosphère. [3]

6.1 Constante solaire : [6]

Une surface plane d'un m² perpendiculaire au rayonnement solaire est située à la limite de l'atmosphère terrestre reçoit une puissance rayonnée en fonction de la distance Soleil-Terre. Cette distance varie quelque peu au cours de l'année, compte tenu de la légère excentricité de l'orbite terrestre.

Le tableau I.1 indique les valeurs de cette puissance surfacique pour le premier de chaque mois. On constate que le flux solaire suit les variations de la distance Terre-Soleil.

On appelle constante solaire, notée C*, la moyenne annuelle du flux solaire reçu à la limite de l'atmosphère terrestre par une surface d'un m² normale aux rayons solaires.

On a : C = 1367 w/m²

Tableau I.1 : Les valeurs de la puissance surfacique [6]

le 1 ^{er} du mois	Janv.	févr.	mar.	Avar.	Mai.	Juin.	Juil.	Aout.	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.
Puissance surfacique [w/m ²]	1399	1394	1379	1354	1333	1312	1308	1312	1329	1350	1373	1392
Ecart relatif En[%/°C]	+3.40	+3.03	+1.92	-0.07	-1.48	-3.03	-3.33	-3.03	-1.77	-0.22	+1.48	+2.88

6.2 Rayonnement incident à la limite de l'atmosphère [6]:

Il dépend de la constante solaire C, c'est le rayonnement reçu perpendiculairement par une surface d'un m² à la limite de l'atmosphère, il varie d'une journée à une autre. Il est donné par la formule suivante :

$$I_0 = 1367 [1 + 0,034 \cos (0,986 (N - 4))]$$

N : est le quantième jour de l'année.

6.3 Rayonnement incident à l'intérieur de l'atmosphère:

6.3.1 Composition de l'atmosphère [6]:

La composition de l'atmosphère est à peu près la même pour les trois premières couches: 78 % d'azote, 21 % d'oxygène, 0.9 % d'argon, 0.03 % de CO₂ et des traces d'autres gaz, avec de la vapeur d'eau dans la troposphère et une mince couche d'ozone dans la

stratosphère dont le rôle est si important dans l'absorption des rayons ultraviolets les plus durs. L'essentiel des modifications subies par le rayonnement solaire se fait dans la troposphère par diffusion, diffraction, absorption, réfraction par des gaz de température et de densité croissante. La masse gazeuse totale traversée est de 10 tonnes/m²; elle équivaut à 7.8 km d'atmosphère ramenée aux conditions de température et de pression dites normales: T=0°C; p=1 013 mbar. Si ces gaz étaient tous ramenés aux conditions normales, on aurait 6.2 km d'azote, 1.7 km d'oxygène, 74 m d'argon, 30m de vapeur d'eau, 24m de CO₂, 14 cm de néon, 4 cm d'hélium, quelques mm de krypton, de méthane de NO et de NO₂ et seulement 5 mm d'ozone.

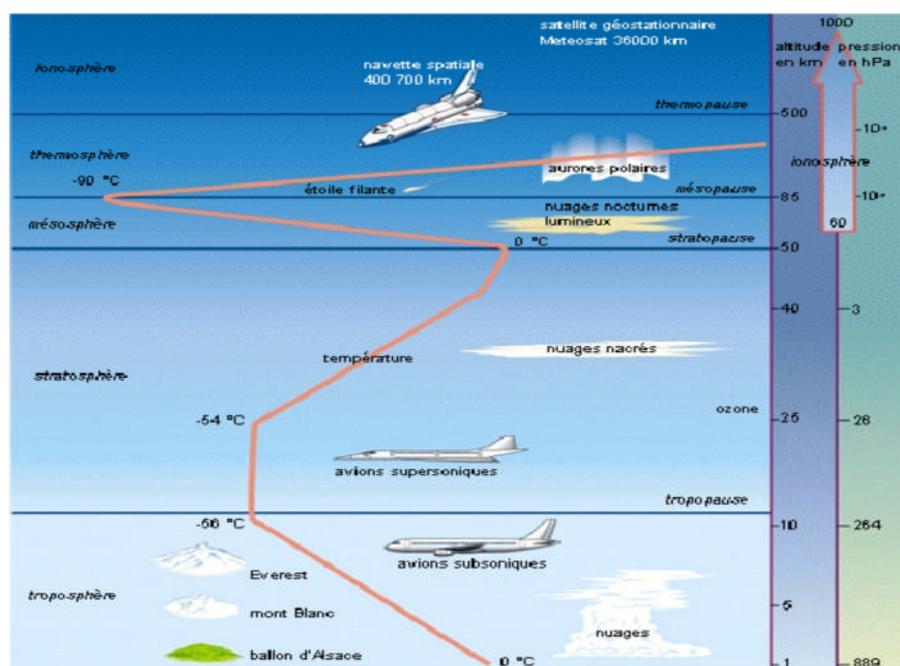


Figure I.7 : La structure de l'atmosphère. [6]

6.3.2 Masse d'air : [6]

On appelle masse d'air, « m », la masse d'atmosphère traversée par le rayonnement direct pour atteindre le sol (par ciel clair), par rapport à une traversé vertical au niveau de la mer (voir figure (I.8)). Cela dépend de la hauteur angulaire du soleil (h). A l'aide des points O, A et M, on écrit la longueur du trajet du soleil à travers l'atmosphère :

$$OM = \frac{OA}{\sin(h)}$$

A une pression P différente de 1013 mbar et à une altitude Z (km), on désignera par masse atmosphérique ou nombre d'air masse :

$$m = \frac{P}{1013 \cdot \sin(h)} \exp\left(-\frac{Z}{7,8}\right)$$

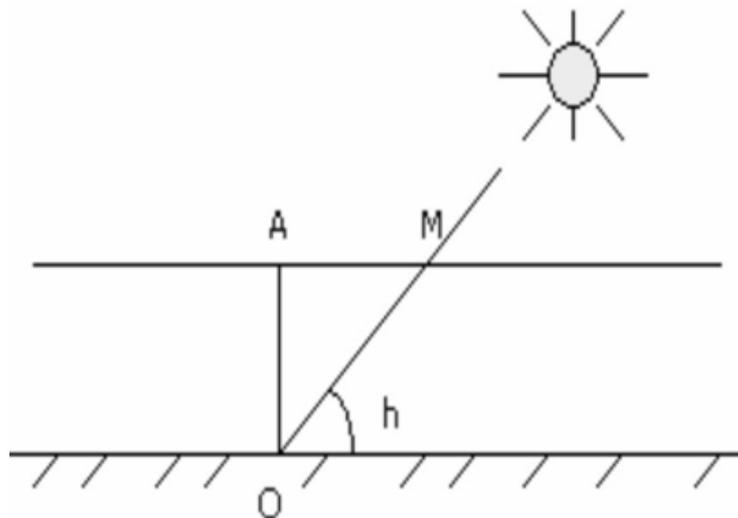


Figure I.8: Le rayonnement solaire et le nombre masse d'air.

Exemple :

- Soleil au zénith (au niveau de la mer) on obtient les conditions : **AM1**.
- Avec un soleil à 30° sur l'horizon, on obtient les conditions : **AM2** ($m = 1/\sin 30^\circ$)
- Par convention **AM0**, désigne le rayonnement solaire hors atmosphère.

6.3.3 Influence de l'atmosphère sur le rayonnement solaire

L'intensité de l'énergie solaire réellement disponible sur la surface de la terre est inférieure à l'intensité solaire à la limite de l'atmosphère en raison de l'absorption et la dispersion de cette énergie due à l'interaction des photons avec l'atmosphère, les nuages et les fumées produites par l'industrie, donc par la pollution ...etc.

6.3.3.1 Absorption [6]:

Elle est sélective et dépend principalement de :

- L'ozone qui forme un écran qui arrête les UV ($\lambda < 0,28 \mu\text{m}$)
- L'oxygène qui absorbe des bandes étroites du spectre visible (vers $0,69$ et $0,76 \mu\text{m}$).
- Le gaz carbonique qui absorbe une partie de l'IR lointain ($(\lambda > 2 \mu\text{m})$).
- La vapeur d'eau qui entraîne des bandes d'absorption multiples surtout dans l'IR. On ne la Rencontre pratiquement qu'au niveau du sol.

6.3.3.2 Diffusion [7]:

En plus de l'absorption sélective liée aux gaz atmosphériques, le rayonnement solaire est soumis à la diffusion lors de sa traversée de l'atmosphère, il s'agit d'une redistribution spectrale du rayonnement par des particules matérielles. On distingue trois types de diffusion atmosphériques :

- Si $\lambda \gg r$: diffusion moléculaire (diffusion Rayleigh).
- Si $\lambda = r$: diffusion par les aérosols (diffusion Mie).
- Si $\lambda \ll r$: diffusion par gouttelettes d'eau et cristaux de nuage.

Avec :

r = le rayon moyen de la particule diffusante.

6.3.4 Evaluation du flux solaire : [3]

Le flux solaire correspond à la puissance solaire reçue par une surface plane élémentaire appelée capteur. Il existe trois composantes du rayonnement solaire à l'intérieur de l'atmosphère:

- **Le rayonnement direct S** : c'est ce qui reste de l'irradiation hors atmosphère lorsque les pertes dues à la réflexion, la diffusion et à la dispersion du rayonnement solaire à travers les composantes de l'air sont soustraites.
- **Le rayonnement solaire diffus D** : Ce rayonnement est dû à la dispersion du rayonnement direct dans l'atmosphère par les composantes de l'air.
- **Le rayonnement réfléchi R** : c'est la partie du rayonnement réfléchi par le sol ou les objets environnants.

La puissance solaire dépend des paramètres suivants :

- le jour.
- l'heure.
- la latitude du point de réception.
- l'orientation du plan récepteur.

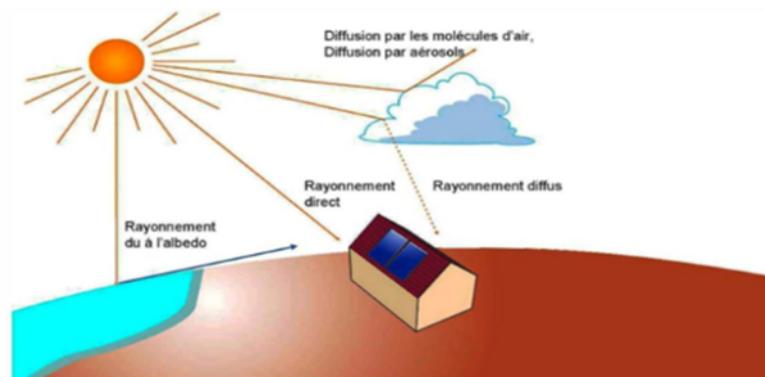


Figure I.9 : Composantes du rayonnement solaire.

Le facteur de transmission de l'atmosphère pour la composante directe est donné par :

$$\tau_s = A \cdot \exp\left(\frac{B}{\sin(h)}\right)$$

Le rayonnement direct capté par un plan horizontal « S_h » est donné par la formule suivante:

$$S_h = I_0 \cdot \tau_s \cdot \sin(h)$$

A et B sont les coefficients de trouble du ciel dont les valeurs sont données dans le tableau suivant:

Tableau I.2 : Coefficients de trouble du ciel

	Ciel dégagé très pur	Conditions normales	Zone industrielle
A	0.87	0.88	0.91
B	0.17	0.26	0.43

Rayonnement solaire direct capté par un plan incliné « S » est exprimé par :

$$S = S_h \frac{\cos(\theta)}{\sin(h)}$$

« θ » est l'angle d'incidence du rayonnement solaire. Pour l'évaluer on utilise la formule suivante :

$$\cos(\theta) = \cos(\beta_1) \sin(h) + \sin(\beta_1) \cos(h) \cos(a - \beta_2)$$

« β_1 » est l'inclinaison du capteur par rapport à l'horizontale et « β_2 » est l'angle formé par la projection de la normale au plan du capteur et la direction Sud; a est l'azimut du soleil.

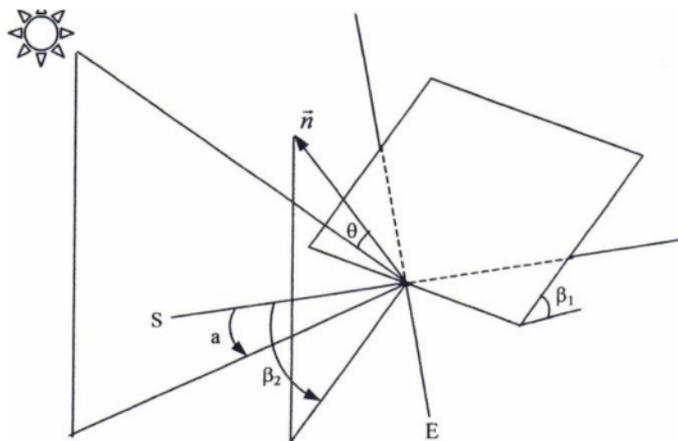


Figure I.10 : La géométrie d'un plan incliné d'un angle β_1 par rapport à l'horizontale.

Le rayonnement diffusé par les différents gaz de l'atmosphère contribue à l'éclairement mais ne peut pas être concentré (à l'inverse du rayonnement direct).

Le facteur de transmission de l'atmosphère pour la composante diffuse est exprimé par :

$$\tau_D = 0,272 - 0,2939 \cdot \tau_s$$

Le rayonnement diffus sur un plan horizontal est donné par :

$$D_h = I_0 \cdot \sin(h) \cdot \tau_D$$

Pour un plan incliné il est donné par l'expression suivante :

$$D = D_h \frac{1 + \cos(i)}{2}$$

Le rayonnement réfléchi d_{re} est la composante de l'éclairement réfléchi par la surface terrestre, cette composante est prise en compte seulement dans le cas d'une surface inclinée, elle dépend essentiellement du type de surface. La fraction d'énergie réfléchie par rapport à l'énergie incidente est appelée Albédo « ρ ». Ce terme étant généralement réservé au sol ou aux nuages, c'est une valeur moyenne de leur reflétant pour le rayonnement considéré et pour tous les angles d'incidences possibles. Il dépend fortement de la nature du sol et l'état de la surface. L'albédo total du système Terre/Atmosphère vaut environ 0.3 ce qui signifie que 30% du rayonnement solaire est réfléchi et 70% est absorbé

$$\rho = \frac{\text{énergie réfléchie}}{\text{énergie reçue}}$$

Ainsi pour un corps noir parfait, l'albédo est nul. On peut citer quelques valeurs moyennes typiques pour différentes sortes de sols ou d'états de surface :

Tableau I.3 : Valeurs typiques de l'albédo du sol

Nature du sol	Albédo
Neige fraîche	0.50 a 0.70
Sol rocheux	0.15 a 0.25
Foret	0.06 a 0.20
Neige ancienne	0.8 a 0.9

Le rayonnement réfléchi est exprimé par « R » :

$$R = \rho \cdot (S_h + D_h) \frac{1 - \cos(i)}{2}$$

La somme de ces trois composantes donne le rayonnement global « G » :

$$G = S + D + R$$

7 Angle d'inclinaison optimal d'un panneau solaire :

Pour maximiser la quantité d'énergie qui sera captée par un panneau solaire, il est important de choisir un angle optimal d'inclinaison de ce panneau.

L'angle d'inclinaison dépend fortement de la latitude du lieu et de la période considérée [8].

8 Rayonnement solaire en Algérie

Le Sahara représente environ 87% de la surface globale de l'Algérie, ce qui représente la majeure partie du territoire Algérien, situé entre les latitudes 20° N et 34° N. Ainsi, l'Algérie dispose d'un des gisements solaires les plus élevés du monde, dépassant les 2000 heures annuellement et peut atteindre les 3900 heures. [3]

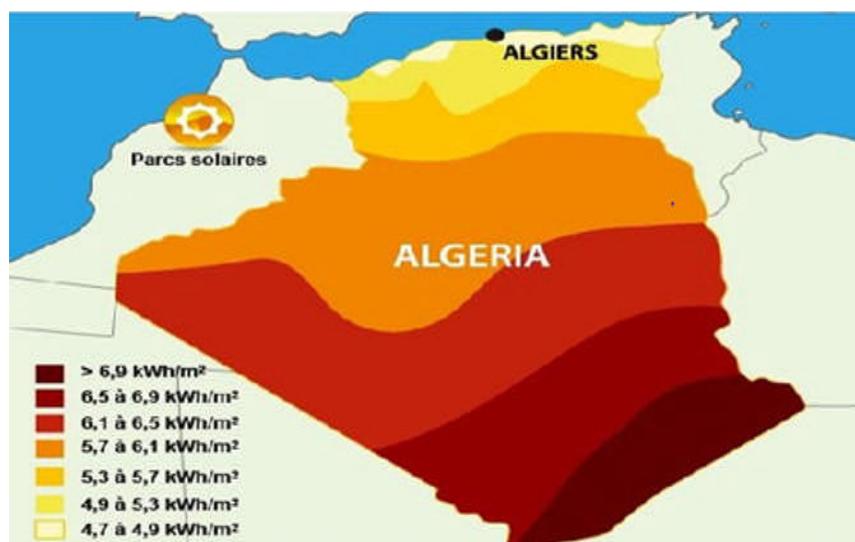


Figure I.11 : Carte de l'irradiation solaire en Algérie. (CDER)

Conclusion :

L'objet de cette étude, étant l'estimation du gisement solaire d'un site donné, qui permet d'accéder facilement à certaines réalisations qui transforment le flux solaire incident en énergie calorifique.

Chapitre II
Notions sur les
capteurs solaires
thermiques

1 Introduction

Un capteur solaire thermique (ou capteur héliothermique ou collecteur solaire) est un dispositif utilisé pour recueillir l'énergie solaire transmise par rayonnement et la communiquer à un fluide caloporteur (gaz ou liquide) sous forme de chaleur. Cette énergie calorifique peut ensuite être utilisée pour le chauffage de bâtiments, pour la production d'eau chaude sanitaire ou encore dans divers procédés industriels.

Le premier panneau solaire a été construit en 1954 par les laboratoires Bell. Il a été appelé batterie solaire mais c'était juste un effet d'annonce car il était trop coûteux à produire. Ce sont les satellites qui ont réellement fait avancer l'énergie solaire dans les années 1960 lors de la course à l'espace. [9]

Dans ce chapitre nous avons présenté les différents types de capteurs solaires thermiques ainsi que les chauffe-eau solaires qui permettent de produire de l'eau chaude.

2 Conversion thermique

D'une façon générale, le principe de conversion du rayonnement solaire en énergie dite thermique est basé sur l'effet de serre.

3 Principe de fonctionnement d'un capteur solaire thermique

Un collecteur solaire ou capteur solaire est utilisé pour extraire la chaleur du rayonnement du soleil. Ainsi, un collecteur fait toujours quelque chose de chaud. L'élément de base d'un capteur solaire est l'absorbeur. Ce dernier absorbe le rayonnement du soleil et la convertit en chaleur (voir figure II.1). Les capteurs solaires sont utilisés pour chauffer l'eau domestique, chauffage domestique, et produire de la chaleur à haute température. [10]. Les centrales thermiques peuvent même produire de l'électricité à partir de la chaleur à haute température.

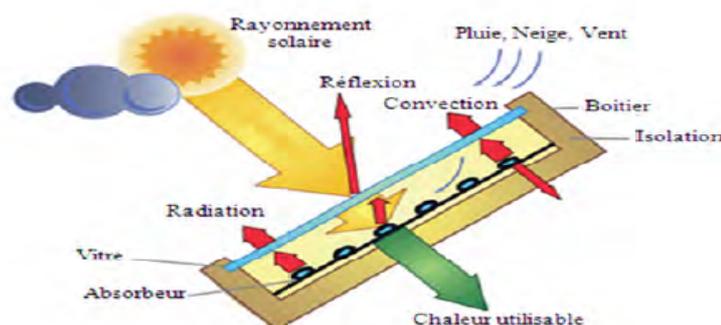


Figure II.1 : processus dans un capteur solaire plan [10].

4 Composants des capteurs solaires thermiques

Tout système de conversion d'énergie solaire doit comprendre les éléments suivants [11] :

- 1- Une surface de captation du rayonnement solaire.
- 2- Un circuit caloporteur qui assure le transfert d'énergie extraite du capteur à l'élément d'accumulation (stockage des calories). Les fluides utilisés généralement comme fluide caloporteur sont: l'eau et l'air.
- 3- Un stockage thermique.
- 4- Un réseau de distribution.

4.1 Le transfert d'énergie

Le transfert d'énergie d'un capteur solaire thermique vers le ballon de stockage s'effectue de deux façons différentes:

- Soit par circulation avec une pompe commandée par un dispositif de régulation.
- Soit par circulation naturelle ou thermosiphon qui est basée sur le principe de la dilatation causée par une augmentation de température. [11]

4.2 Le stockage

Afin d'assurer le fonctionnement d'un chauffe-eau solaire, il est nécessaire de pouvoir stocker l'eau chaude dans un réservoir et l'utiliser pendant la nuit ou pendant les journées sans soleil. Le ballon de stockage doit être calorifugé. Le calorifugeage devra être disposé de façon à permettre la manœuvre et le démontage pour l'entretien des appareils. Le stockage de l'énergie captée permet de pallier le caractère discontinu de l'énergie solaire. L'accumulation de l'énergie dans le stockage se traduit par une élévation de sa température.

Pour apprécier l'efficacité d'un système de stockage, il faut rappeler que le rendement d'un capteur dépend essentiellement de la température moyenne du fluide qui le traverse, donc de la température de fluide au retour du stockage. [11]

5 Les différents modèles des capteurs solaires thermiques

On peut classer le capteur solaire selon la température : les capteurs à faible température, Moyen température, haut température [12-13]

5.1 Les capteurs à eau :

Il existe trois types des capteurs solaires à eau :

5.1.1 Les capteurs solaires plans

Un Capteur solaire à plaque plane se constitue d'un imperméable en métal ou en fibre de verre, boîte isotherme contenant une plaque d'absorption de couleur foncée, l'absorbeur avec un ou plusieurs vitrages. La plaque absorbante est généralement fabriquée à partir de métal en raison de sa haute conductivité thermique, et est peinte avec des revêtements de surface sélectifs spéciaux afin d'absorber et transférer la chaleur mieux que la peinture noire. Le vitrage permet de réduire les pertes de chaleur par convection et par rayonnement [12-14]

5.1.1.1 Les capteurs plans sans vitrage

C'est le modèle le plus simple, le plus économique mais le moins performant. Il est généralement constitué d'une simple plaque de métal ou de matière plastique (absorbeur) sur laquelle sont collés plusieurs tubes porteurs de fluide caloporteur. Les capteurs plans non vitrés ne sont pas isolés sur la face avant, c'est pourquoi ils répondent mieux à des applications à basse températures (inférieure à 30°C). Le domaine d'utilisation principal de ce type de capteurs est de chauffage des piscines extérieures.

Ces capteurs absorbent une grande partie de l'énergie solaire. Toutefois, parce qu'ils ne sont pas isolés sur leur face avant, la grande partie de la chaleur absorbée est perdue lorsqu'il ya notamment du vent et que la température extérieure n'est pas assez élevée, (figure II.2). La typique intégration architecturale qu'autorise ce type de produit permet la mise en œuvre de surface plus grande, pour compenser la différence d'efficacité avec les capteurs plans vitrés, en particulier pendant l'hiver.



Figure II.2: Capteurs plans sans vitrage [15]

5.1.1.2 Les capteurs plans vitrés

Les capteurs solaires plans vitrés à eau sont très répandus. Ces capteurs conviennent mieux à des applications à température modérée où les températures souhaitées se situent entre 30°C et 70°C. Les capteurs à circulation d'eau sont plus couramment utilisés pour la

production de l'eau chaude sanitaire à l'échelle individuelle ou collective, pour un usage industriel, ainsi que pour les piscines intérieures, (Figure. II.3).



Figure II. 3: Capteur plan vitré [15] .

5.1.2 Les capteurs sous vide

Les capteurs solaires à tubes sous vide sont des capteurs solaires qui ont une meilleure performance que les capteurs plans pour un fonctionnement à haute température dans l'intervalle de 77 à 170 °C. Ils sont bien adaptés pour les applications de chauffage commercial et industriel ainsi que pour les applications de refroidissement par des cycles de réfrigération régénérates [12-16]

Les capteurs solaires "sous vide" (Figure. II.4). Sont composés d'une série de tubes en verre transparents. Dans chaque tube il y a une plaque absorbante pour capter le rayonnement solaire et un échangeur pour favoriser le transfert de l'énergie thermique. Les tubes sont mis sous vide pour éviter les déperditions thermiques convectives de la plaque absorbante et la plaque absorbante reçoit un traitement sélectif pour empêcher le rayonnement à grande longueur d'onde de se dissiper, ainsi, on peut réaliser des capteurs solaires performants sans une isolation thermique rapportée ou un coffre de protection. [15]



Figure II.4: Capteur sous vide [15].

5.1.3 Capteur à concentration :

Ce sont des capteurs solaires comportant un système optique (réflecteurs, lentilles...) destiné à concentrer sur l'absorbeur le rayonnement ayant traversé l'ouverture. Ils utilisent une surface réfléchissante dont la forme permet de concentrer en un même point la réflexion de l'énergie lumineuse. [17]

5.2 Capteurs à air

Les capteurs plans à air sont munis d'une couverture transparente qui laisse passer la plus grande partie du rayonnement solaire et évite le refroidissement de l'absorbeur. Les échanges par convection entre celui-ci et la couverture transparente sont réduits, de même que l'émission du rayonnement infrarouge de l'absorbeur. C'est le principe de « l'effet de serre ». Une isolation thermique est disposée à l'arrière et sur le périphérique du capteur pour limiter des déperditions par conduction.

Les capteurs à air sont utilisés pour le séchage, pour le chauffage des locaux et la ventilation. [17]

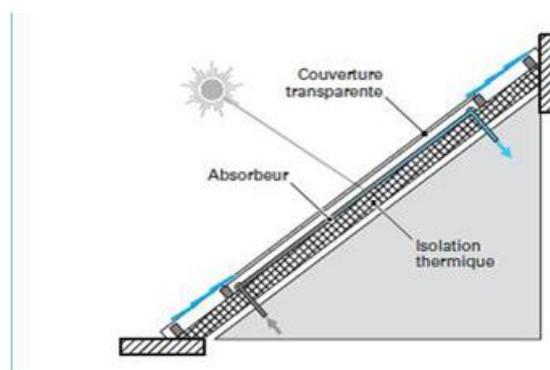


Figure II.5: Schéma d'un capteur à air à plan incliné [17].

6 Constituants d'un capteur solaire plan

Les techniques et les matériaux utilisés dans la fabrication des capteurs solaires sont similaires à ceux employés dans le secteur traditionnel du chauffage, du sanitaire et des verrières. Généralement, un capteur solaire est composé des éléments suivants:

- une couverture transparente (vitre...)
- absorbeur
- fluide caloporteur

-isolant

-Le coffre.

6.1 Une couverture transparente

La couverture est la surface à travers laquelle le rayonnement solaire non concentré est admis dans le capteur. On ne peut utiliser que des matériaux transparents. L'intérêt d'une couverture transparente habituelle pour le rayonnement solaire est d'autant plus grand que la température de fonctionnement du convertisseur est élevée. Cette couverture doit assurer trois fonctions essentielles :

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

Les inconvénients du verre sont sa fragilité, son poids et son prix élevé en double vitrage. L'inconvénient principal des matériaux plastiques est la dégradation de certaines de leurs propriétés avec le temps pour certains, ou le prix élevé pour d'autres. [18]

6.2 Partie absorbante

Il a pour fonction d'absorber le rayonnement solaire incident, de le convertir en chaleur et de transmettre celle-ci à un fluide caloporteur, tout en minimisant les pertes. En général, l'absorbeur n'est qu'une plaque plane en métal dont la couche superficielle donnant sur le soleil, doit avoir un coefficient d'absorption le plus élevé possible. Les meilleurs coefficients sont de l'ordre de 0,95.

6.3 Fluide caloporteur

Pour évacuer la chaleur emmagasinée par la surface absorbante, on utilise habituellement soit l'air, soit l'eau, des mélanges eau glycol sont aussi employés à cause des conditions climatiques, ces mélanges ont une chaleur spécifique inférieure à celle de l'eau pure. Par rapport à l'eau, l'air n'a pas de problème de gel pendant l'hiver ou d'ébullition pendant l'été et il n'y a pas de problème de corrosion. Néanmoins l'air ne peut servir qu'au chauffage de locaux et les transferts thermiques sont moins bons qu'avec l'eau. D'autre part, quelque soit le système, le contact entre les tuyaux véhiculant le fluide et la plaque absorbante doit être très intime, soit par emboutissage, soit par soudure. De même, l'espacement entre les tuyaux devra être rigoureusement calculé en fonction du diamètre du tuyau de l'épaisseur de la plaque et des matériaux employés. Les tuyaux de circulation du fluide en contact avec l'absorbeur seront de préférence placés en parallèle plutôt qu'en serpent.

6.4 L'isolation thermique

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

6.4.1 Partie avant de l'absorbeur

La lame d'air située entre la vitre et l'absorbeur se comporte comme un isolant vis-à-vis de la transmission de chaleur par conduction. Cependant, si l'épaisseur de cette lame est trop grande, une convection naturelle intervient, d'où une perte d'énergie. Pour les températures usuelles de fonctionnement du capteur plan, l'épaisseur de la lame d'air est de l'ordre de 2.5cm. En plaçant deux vitres, on limite les pertes dues à la réémission ainsi que les pertes par conduction et par convection. [19]

6.4.2 Parties arrière et latérale

Afin de limiter les pertes thermiques à la périphérie du capteur, on peut placer une ou plusieurs couches d'isolant qui doit résister et ne pas dégazer aux hautes températures, sinon, il faut s'attendre à voir apparaître un dépôt sur la face intérieure de la couverture. En plus d'utiliser un isolant pour minimiser les pertes thermiques on peut augmenter la résistance de contact entre la plaque, l'isolant et le coffre en évitant de presser ces surfaces les unes contre les autres car dans le cas d'une forte rugosité, il peut exister entre les deux faces en contact un film d'air qui empêche la chaleur de passer facilement par conduction. Le choix du matériau à utiliser dépend de : [20]

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

6.5 Le coffre

Le coffre fabriqué couramment en aluminium ou en bois, enferme l'absorbeur et l'isolation thermique du capteur, les protégeant ainsi contre l'humidité et les détériorations mécaniques [18]

7 L'utilisation des capteurs

Les capteurs solaires sont utilisés dans plusieurs domaines :

- Chauffer les locaux et fournir l'eau chaude sanitaire.
- Activer la croissance des végétaux.
- Sécher les grains et les fourrages.
- Faire fonctionner des moteurs thermiques.
- Alimenter des machines de réfrigération.

Les capteurs plans peuvent assurer des températures variant de **30 C° à 150 C°**. [20]

8 L'orientation des capteurs

Les capteurs solaires peuvent être :

8.1 Des capteurs fixes :

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

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

8.2 Des capteurs à poursuite

Le capteur solaire peut être muni d'un dispositif de guidage automatique dans la direction de provenance du flux lumineux, ce qui va améliorer le rendement. [18]

9 Principe de l'effet de serre

Le fonctionnement de tout capteur à basse température se fait par effet de serre, cet effet s'explique par le fait que le verre est un matériau quasiment transparent au rayonnement solaire, alors il est presque opaque au rayonnement infrarouge. Le rayonnement solaire ne traverse pas entièrement la vitre du capteur, car une petite partie « **Pr1** » est réfléchi par la vitre, surtout si l'angle d'incidence est élevé, malgré l'excellente transparence du verre, une petite partie « **Pv1** » de l'énergie reçue sera absorbé par le verre, une partie du rayonnement solaire « **Pa1** » est reçue par l'absorbeur, et une autre partie « **Pd** » sera ré-rayonné ou communiqué à l'air ambiant par convection. Une partie « **Pr2** » de « **Pd** » va traverser la vitre et sera perdue définitivement ; une autre partie « **Pv2** » va traverser et sera absorbée par la

vitre et le reste retourna vers l'absorbeur « $Pa2$ », on négligera les pertes à travers l'isolant. [21]

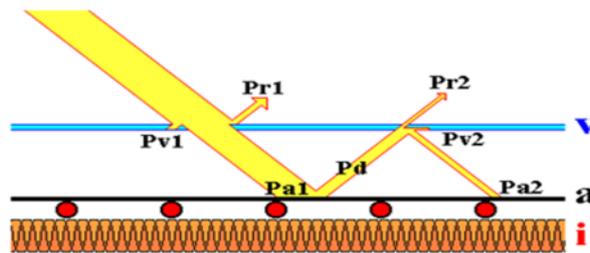


Figure II.6: Illustre de l'effet de serre dans un capteur. [21]

10 L'effet thermosiphon :

La circulation de l'eau dans le chauffe-eau solaire est provoquée par l'effet thermosiphon. Lorsque le fluide d'un circuit est soumis à une différence de température, il se meut par variation de sa densité entre les parties chaudes et froides, le fluide chaud étant moins dense que le fluide froid. Quand le capteur est exposé au soleil, au contact de l'absorbeur, le fluide caloporteur s'échauffe et un gradient de température apparaît. En effet l'augmentation de la température du fluide conduit à une diminution de la masse volumique, de ce fait un liquide chaud est plus léger qu'un liquide froid, par conséquent le liquide chaud a tendance à monter et le liquide froid revient au point le plus bas, ainsi le liquide est mis en mouvement et le fonctionnement du chauffe eau solaire est assuré. [11]

11 Energie d'appoint

Une source d'énergie d'appoint est nécessaire pour couvrir la totalité des besoins de l'eau chaude sanitaire dans des périodes défavorables (période de mauvais temps). Pour ce faire, il faut équiper le ballon d'un dispositif d'appoint en cas de besoin, et restitue le stock d'eau chaude, il peut s'agir :

- d'une résistance électrique, souvent placée à mi-hauteur du ballon.
- D'un serpentin (gaz, fuel, bois) située en aval du ballon.

12 Le raccordement des capteurs :

12.1 Raccordement en série

Dans ce type de montage, la sortie du premier capteur est reliée à l'entrée du deuxième capteur dont la sortie est reliée à l'entrée du troisième capteur et ainsi de suite. Plus le

parcours du fluide caloporteur est long, plus les températures obtenues à la sortie du dernier capteur sont élevées.

12.2 Raccordement en parallèle

Dans ce cas, l'eau arrive à chaque capteur par une conduite de distribution qui parcourt les bords inférieurs, alors que l'eau chaude est prélevée par l'intermédiaire d'une autre conduite placée le long du bord supérieur du capteur. Il est donc important dans ce type de raccordement que le circuit soit bien équilibré de façon à ce que le débit du fluide caloporteur soit distribué également dans les divers capteurs.

12.3 Raccordement mixte

C'est la combinaison entre le mode série et le mode parallèle. Il en résulte une distribution plus uniforme de l'écoulement et donc des températures. Il existe deux types de raccordement mixte, particulièrement indiqués pour les installations de grande dimension.

- Le raccordement série parallèle.
- Le raccordement parallèle série. [22]

13 Différents types de chauffe-eau solaire

Il existe quatre types de chauffe-eau solaire :

- * monobloc,
- * thermosiphon,
- * circulation forcée
- * auto vidange.

13.1 Les chauffe-eau monobloc :

Ce sont les chauffe-eau les plus simples le ballon et le panneau solaire formant un seul ensemble, d'où leur appellation. C'est directement l'eau chaude sanitaire qui circule dans les panneaux. Réchauffée par le rayonnement solaire, l'eau devient moins dense et monte dans le ballon situé légèrement au-dessus du panneau. Il n'y a donc pas besoin de pompe. Néanmoins, le ballon d'eau chaude doit être situé à proximité immédiate du panneau, en général sur la toiture ce qui pose parfois des problèmes d'esthétique et d'isolation : le Chauffe-eau dépasse de la toiture, et le ballon est à l'extérieur du logement, en plein vent. [23]



Figure II .7: chauffe eau solaire monobloc. [23]

13.2 Les chauffe-eau à thermosiphon :

Pour éviter les inconvénients du système monobloc, tout en conservant les avantages et la simplicité, on peut séparer les panneaux du ballon d'eau chaude. Tant que les panneaux restent plus bas que le ballon de stockage, l'eau va pouvoir continuer à circuler naturellement par effet thermosiphon. À la sortie du panneau l'eau est plus chaude donc plus légère, et monte vers le ballon, elle est remplacée par l'eau la plus froide du ballon, qui est plus lourde et qui descend vers le bas des panneaux. Mais sous certains climats, on ne peut malheureusement pas faire circuler de l'eau dans les panneaux solaire toute l'année, à cause des risques de gel. Deux alternatives sont alors envisageables : les chauffe-eau à circulation forcée et à fluide antigel, et les chauffe-eau à auto vidange. [23]

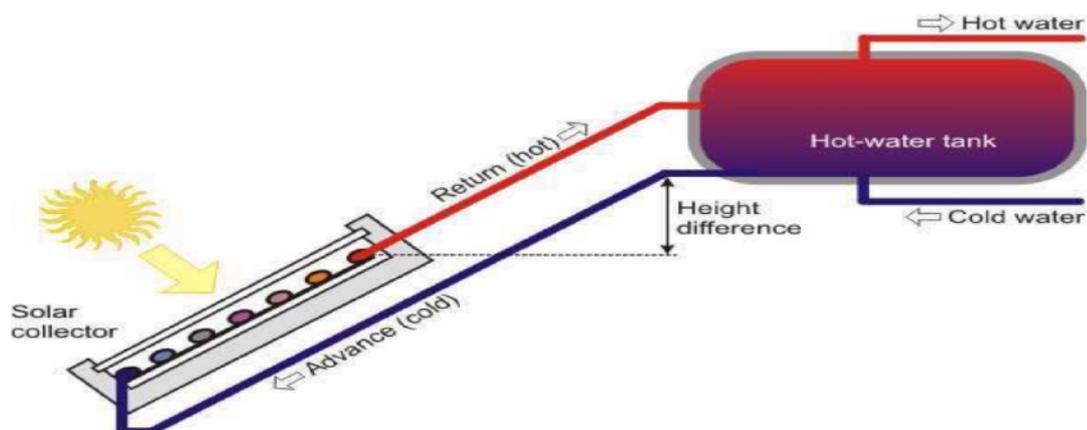


Figure II .8: schéma d'un système à thermosiphon. [23]

13.3 Les chauffe-eau à circulation forcée :

Les panneaux solaires seront remplis avec un fluide qui ne craint pas le gel (en général de l'eau glycolée). Comme ce fluide est impropre à la consommation et ne doit pas être mélangé avec l'eau chaude sanitaire, la chaleur sera récupérée dans le ballon à travers un échangeur. Un serpentin à l'intérieur du ballon joue ce rôle et évite tout contact entre l'eau chaude et le fluide caloporteur. Une pompe assure le transfert du fluide entre le capteur solaires et l'échangeur, du coup, la position du ballon par rapport aux panneaux n'a plus d'importance. [23]

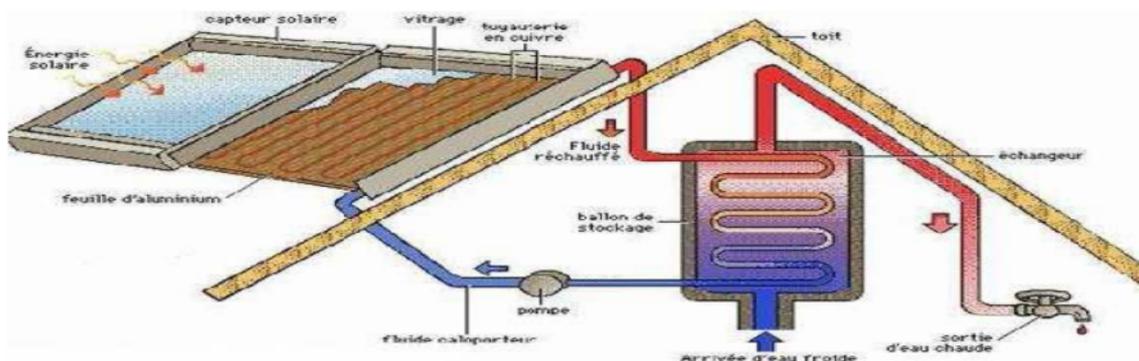


Figure II.9: système à circulation forcée. [23]

13.4 Les chauffe-eau auto vidange :

Une alternative pour éviter le risque de gel est de vider les panneaux solaires en période de non-utilisation, C'est le principe des chauffe-eau à auto vidange. Dans ce cas, le ballon est toujours situé plus bas que les panneaux solaires, dès que le soleil ne chauffe plus, la circulation entre le ballon et les capteurs solaires s'arrête, et le circuit se vidange automatiquement. Les panneaux solaires et la partie de canalisation exposée au froid sont donc vides en cas de gel. Dès que l'ensoleillement reprend, la circulation se remet en route et le circuit se remplit. [23]

14 Le chauffage solaire des piscines en plein air:

Pour le but de :

- Mettre le bassin en température en début de saison.
- prolonger la saison de baignade.
- relever la température du bassin après une séquence de mauvais temps ou de vent.

On utilise généralement des capteurs non vitrés, non isolés (capteurs moquettes). Une couverture nocturne de la piscine est fortement conseillée, car les pertes de chaleur par évaporation et par rayonnement sont très importantes. Elle permet de diminuer en moyenne

ces pertes de 50% par rapport à une piscine non couverte. L'énergie solaire apporte le complément et permet de se passer d'une énergie conventionnelle. [24]



Figure II.10: Le chauffage solaire des piscines [25]

15 Avantages et inconvénients des panneaux solaires thermiques

Parmi les avantages des panneaux solaires thermiques, on peut citer :

- La lumière du soleil étant disponible partout, elle est exploitable quelle que soit la région.
- L'énergie solaire recueillie par les capteurs solaires thermiques est une énergie propre et renouvelable. Installer cet équipement, c'est participer à la réduction des émissions de gaz à effet de serre. En effet, si un foyer de 4 personnes utilise des capteurs solaires thermiques couplés d'un chauffe-eau solaire, cela évite l'émission d'une tonne de CO₂ par an dans l'atmosphère.
- L'énergie solaire thermique permet d'assurer une partie des besoins en eau chaude sanitaire et en chauffage.
- L'installation des panneaux solaires thermiques permet de réaliser des économies conséquentes sur la durée.
- Les capteurs solaires thermiques s'adaptent à tous les types de toitures et s'intègrent parfaitement sur des tuiles ou des ardoises en préservant l'esthétique.
- Les frais de maintenance et de fonctionnement d'une installation thermique sont relativement faibles.

A côté de leurs avantages, les capteurs solaires thermiques ont aussi plusieurs inconvénients:

- Les capteurs solaires contiennent des déchets toxiques : cuivre et chrome
- Il faut pouvoir stocker la chaleur dans des ballons ou des dalles chauffantes

- La production d'énergie solaire n'est possible que lorsqu'il y a du soleil
- Le coût d'investissement d'une installation solaire thermique est relativement élevé
- L'énergie solaire est une énergie intermittente. Il faut donc un système de chauffage d'appoint.

Chapitre III
simulation
numérique d'un
capteur solaire
thermique

1 Introduction

Ce chapitre est consacré au calcul de bilan thermique de chauffe-eau solaire, et l'évolution de température d'eau du réservoir, et l'influence des paramètres externes (les données météorologiques) et le volume de stockage sur le rendement du capteur durant les journées d'équinoxes et de solstices. Les résultats obtenus et leurs interprétations sont inclus dans ce dernier chapitre.

2 Position du problème

Il s'agit d'étudier un capteur solaire plan orienté plein sud et formant un angle β avec l'horizontale. La latitude de lieu de Tizi-Ouzou est retenue pour évaluer la réponse thermique de ce capteur durant les journées d'équinoxes et de solstices.

La (figure III.1) illustre ce capteur solaire. Le parcours de fluide caloporteur (l'eau) est dicté par des chicanes qui sont collées à la face supérieure de l'absorbeur et la face inférieure de la vitre. Ce qui permet à l'eau de circuler entre l'absorbeur et la vitre.



Figure. III. 1 : Vue d'ensemble du capteur solaire

3 Bilans thermiques

3.1 Bilan thermique de la vitre

- Rayonnement solaire, de courte longueur d'onde (CLO), absorbé par la vitre

$$\phi_{sl} = \alpha_1 \cdot S \cdot G \quad (\text{III.1})$$

Avec :

α_1 : Absorptivité de la vitre.

$$\alpha_1 = 0.15$$

G : éclairement solaire global.

S : surface du panneau solaire

- **Rayonnement net de grande longueur d'onde (GLO) échangé entre la vitre et la voûte céleste :**

$$\phi_{gv} = S \cdot \varepsilon_g \cdot \sigma (T_g^4 - T_v^4) \quad (III.2)$$

Avec :

T_g : Température moyenne de la vitre.

T_v : Température de la voûte céleste.

$$T_v = (T_a - 12) \quad (III.3)$$

T_a : Température ambiante

ε_g : Émissivité de la vitre

$$\varepsilon_g = 0.93$$

- **Flux de chaleur convectif échangé entre la face supérieure de la vitre et l'air ambiant**

$$\phi_{ga} = S \cdot h_{ga} (T_g - T_a) \quad (III.4)$$

Où h_{ga} : coefficient d'échange par convection entre la vitre et le milieu ambiant.

Ce dernier est dû entièrement à la vitesse du vent.

La loi empirique établie par Macadams donnant le coefficient d'échange :

$$\begin{cases} h_{ga} = 5,7 + 3.8V_{vent} & \text{pour } V_{vent} < 5m/s \\ h_{ga} = 6,47 + V_{vent}^{0.78} & \text{pour } V_{vent} \geq 5m/s \end{cases} \quad (III.5)$$

- **Rayonnement net GLO échangé entre la vitre et l'absorbeur**

$$\phi_{gp}^r = F_{pg} S \cdot \varepsilon_p \sigma (T_p^4 - T_g^4) \quad (III.6)$$

Avec :

T_p : Température de l'absorbeur

$F_{pg}=1$: Facteur de forme vitre-absorbeur

ε_p : Émissivité de l'absorbeur $\varepsilon_p = 0.87$

➤ **Flux de chaleur convectif échangé entre la vitre et l'eau**

$$\phi_{ge}^c = S \cdot h_{ge} \cdot (T_e - T_g) \quad (III.7)$$

Avec :

T_e : Température moyenne de l'eau de capteur.

h_{ge} : Coefficient d'échange par convection entre la vitre et l'absorbeur qui s'exprime par :

$$h_{ge} = \frac{N_{uf} \times \lambda_f}{D_h} \quad (III.8)$$

N_{uf} : Nombre de Nusselt

D_H : Diamètre hydraulique

λ_f : La conductivité thermique du fluide

Le coefficient de transfert thermique en convection forcée dépend du N_{uf} , D_H , λ_f .

$$N_{uf} = \frac{h_f \times D_h}{\lambda_f} \quad (III.9)$$

$$D_H = \frac{4 \times A_h}{P} \quad (III.10)$$

A_h : Section de passage de fluide

P : périmètre de contact fluide/paroi

Pour déterminer le nombre de **Nusselt** N_{uf} , il est nécessaire de connaître le régime de l'écoulement du fluide caloporteur qui est caractérisé par le nombre **Reynolds** (R_e).

Le nombre de Reynolds permet de connaître la nature d'écoulement

$R_e < 2000$ Écoulement laminaire

$$N_{uf} = 4,36 \quad (III.11)$$

$R_e > 2000$ Écoulement turbulent

$$Nu_f = 0.023 \times Re^{0.8} \times Pr^{0.4} \quad (III.12)$$

Le nombre de Reynolds et Prandtl :

$$Re = \frac{\rho_f \times V_f \times D_H}{\mu_f} \quad (III.13)$$

$$Pr = \frac{c_p \times \mu_f}{\lambda_f} \quad (III.14)$$

Pr et Re Sont les corrélations de **Reynolds** et **Prandtl**.

ρ_f, V_f, μ_f , sont respectivement la masse volumique du fluide, la vitesse de fluide caloporteur, la viscosité dynamique de fluide.

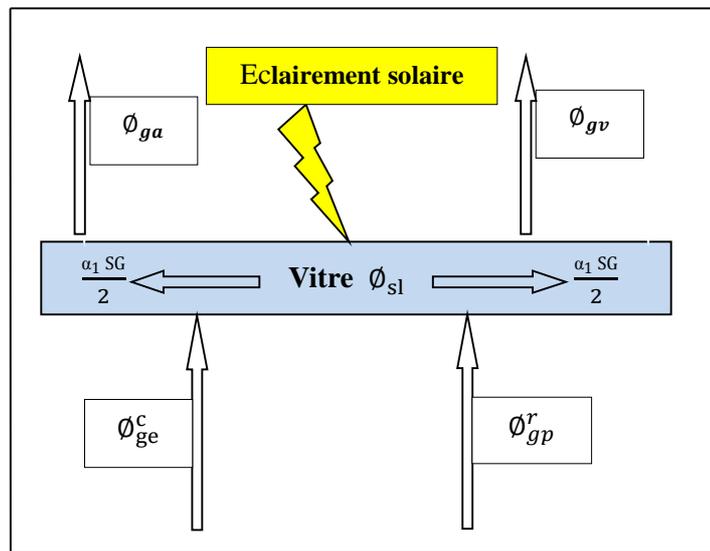


Figure III.2 : répartition de rayonnement solaire à travers la vitre

$$\phi_{sl} + \phi_{ge}^c + \phi_{gp}^r - \phi_{gv} - \phi_{ga} = M_g \cdot C_g \cdot \frac{dT_1}{dt} \quad (III.15)$$

En remplaçant les expressions des flux, données par les relations (1,2, 4, 6,7), on obtient:

$$\alpha_1 \cdot S \cdot G + S \cdot h_{ge} \cdot (T_e - T_g) + F_{pg} S \cdot \varepsilon \sigma (T_p^4 - T_g^4) - S \cdot \varepsilon \cdot \sigma (T_g^4 - T_v^4) - S \cdot h_{ga} (T_g - T_a) = M_g \cdot C_g \cdot \frac{dT_g}{dt}$$

$$\alpha_1 \cdot G + h_{ge} \cdot (T_e - T_g) + F_{pg} \varepsilon \cdot \sigma (T_p^4 - T_g^4) - \varepsilon \cdot \sigma (T_g^4 - T_v^4) - h_{ga} (T_g - T_a) = \left(\frac{M_g \cdot C_g}{s} \right) \frac{dT_g}{dt} \quad (III.16)$$

Avec :

M_g : Masse de la vitre

C_g : Chaleur massique de la vitre

$$M_g = \rho_v \cdot e_v \cdot S \quad (\text{III.17})$$

ρ_v : masse volumique de verre

e_v : épaisseur de la vitre

La surface occuper par les chicanas collé sur la face supérieure de l'absorbeur et la face inférieure de la vitre est négliger

3.2 Bilan thermique de l'absorbeur

- **Rayonnement solaire, de courte longueur d'onde (CLO), absorbé par l'absorbeur**

$$\phi_{sl2} = \alpha_2 \tau \cdot S \cdot G \quad (\text{III.18})$$

α_2 : Absorptivité de l'absorbeur.

τ : coefficient de transmission de la vitre.

G : éclairement solaire global.

S : surface du panneau solaire

- **Flux de chaleur convectif échangé entre l'absorbeur et l'eau**

$$\phi_{pe}^c = S \cdot h_{pe} \cdot (T_p - T_e) \quad (\text{III.19})$$

Avec :

T_e : température de l'eau du capteur

$h_{pe} = h_{ge}$: coefficient d'échange par convection entre l'absorbeur et l'eau

- **Flux de chaleur perdu par le côté inférieur du capteur**

$$\phi_{ia} = K_{ia} S \cdot (T_p - T_a) \quad (\text{III.20})$$

Avec :

K_{ia} : Conductance globale.

- **Le bilan thermique effectué sur un élément de surface dS de l'absorbeur**

$$\phi_{sl2} - \phi_{gp}^r - \phi_{pe}^c - \phi_{ia} = M_p \cdot C_p \cdot \frac{dT_p}{dt} \quad (III.21)$$

Ce qui conduit, tenant compte des expressions (18,6 19,20), à la relation suivante

$$\alpha_2 \tau \cdot S \cdot G - F_{pg} S \cdot \varepsilon \delta (T_p^4 - T_g^4) - S \cdot h_{pe} \cdot (T_p - T_e) - K_{ia} S \cdot (T_p - T_a) = M_p \cdot C_p \cdot \frac{dT_p}{dt}$$

Laquelle devient :

$$\alpha_2 \tau \cdot G - F_{pg} \cdot \varepsilon \sigma (T_p^4 - T_g^4) - h_{pe} \cdot (T_p - T_e) - K_{ia} (T_p - T_a) = \left(\frac{M_p \cdot C_p}{s} \right) \frac{dT_p}{dt} \quad (III.22)$$

M_p : Masse de l'absorbeur

C_p : Chaleur massique de l'absorbeur

$$M_p = \rho_p \cdot e_p \cdot S \quad (III.23)$$

ρ_p : Masse volumique de l'absorbeur

3.3 Bilan thermique de l'eau du capteur

- **La variation d'énergie interne de l'eau**

$$\phi_e^c = \dot{m} C_e \Delta T_e \quad (III.24)$$

- **L'eau en contact de la vitre, échange un flux de chaleur par convection**

$$\phi_{ge}^c = S \cdot h_{ge} \cdot (T_g - T_e) \quad (III.25)$$

- **Par ailleurs, l'absorbeur échange par convection un flux de chaleur avec l'eau donné par la relation(19)**

La variation d'énergie interne de l'eau correspond alors à :

$$\phi_e - \phi_{ge}^c - \phi_{pe}^c = -M_e \cdot C_e \cdot \frac{dT_e}{dt}$$

Laquelle devient :

$$\dot{m} C_e \Delta T_e - S \cdot h_{ge} \cdot (T_g - T_e) - S \cdot h_{pe} \cdot (T_p - T_e) = -M_e \cdot C_e \cdot \frac{dT_e}{dt} \quad (III .26)$$

Avec

C_e : Chaleur massique de l'eau

M_e : Masse de l'eau

$$M_e = \rho_{eau} \cdot S_{droite} \cdot dz \quad (III.27)$$

3.4 Bilan thermique de réservoir



Figure III.3 : réservoir du stockage

- Flux apporté par l'eau du réservoir

$$\phi_{r1} = \dot{m} C_e (T_S - T_r) \quad (III.28)$$

Avec

T_S : Température de l'eau entrant au réservoir ou sortie de capteur

T_r : Température de l'eau à la sortie de réservoir

- Flux échangé par conduction entre l'eau du réservoir et le milieu ambiant à travers la face latérale de réservoir

$$\phi_{r2} = K_{r2} \cdot (T_r - T_a) \quad (III.29)$$

Avec

K_{r2} : Coefficient d'échange par conduction à travers la face latérale du réservoir

- Flux échangé par conduction entre l'eau du réservoir et le milieu ambiant à travers les deux faces planes du réservoir

$$\phi_{r3} = 2S'_2 \cdot K_{r3} \cdot (T_r - T_a) \quad (III.30)$$

Avec

K_{r3} : Coefficient d'échange par conduction à travers deux faces planes du réservoir

S'_2 : surface de la face plane de réservoir

$$\phi_{r1} - \phi_{r2} - \phi_{r3} = M_r \cdot C_r \cdot \frac{dT_r}{dt} \tag{III.31}$$

Donc

$$\dot{m}C_e(T_S - T_r) - K_{r2} \cdot (T_r - T_a) - 2S'_2 \cdot K_{r3} \cdot (T_r - T_a) = M_r \cdot C_r \cdot \frac{dT_r}{dt} \tag{III.32}$$

4 Détermination des coefficients d'échange thermique

Pour déterminer ces coefficients on utilise les relations suivantes :

4.1 Conductance thermique à travers l'isolant

$$K_{ia} = \frac{1}{\frac{e_i}{\lambda_i} + \frac{1}{h_{ia}}} \tag{III.33}$$

Avec :

λ_i : Conductivité thermique de l'isolant

e_i : épaisseur de l'isolant

4.2 Conduction thermique à travers la couche isolante du réservoir

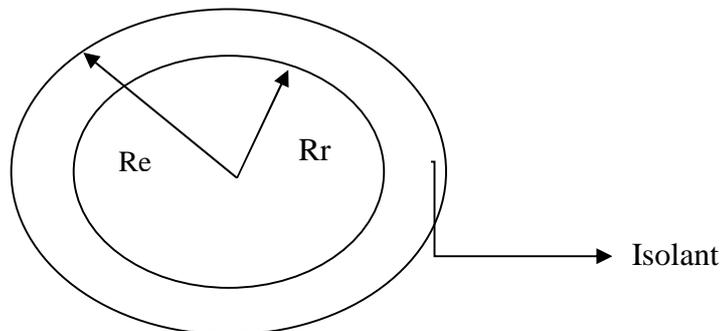


Figure III.4: Face latérale du réservoir

- Pour la face latérale

Le coefficient d'échange est donné par

$$K_{r2} = \frac{2\pi\lambda_i L r}{\ln\left(\frac{R_e}{R_r}\right)} \tag{III.34}$$

- Pour les deux faces planes :

$$K_{r3} = \frac{\lambda_i}{e_r} \tag{III.35}$$

Avec :

e_r : Épaisseur de la couche isolante des deux faces.

5 Calcul de l'épaisseur de l'isolant du réservoir cylindrique

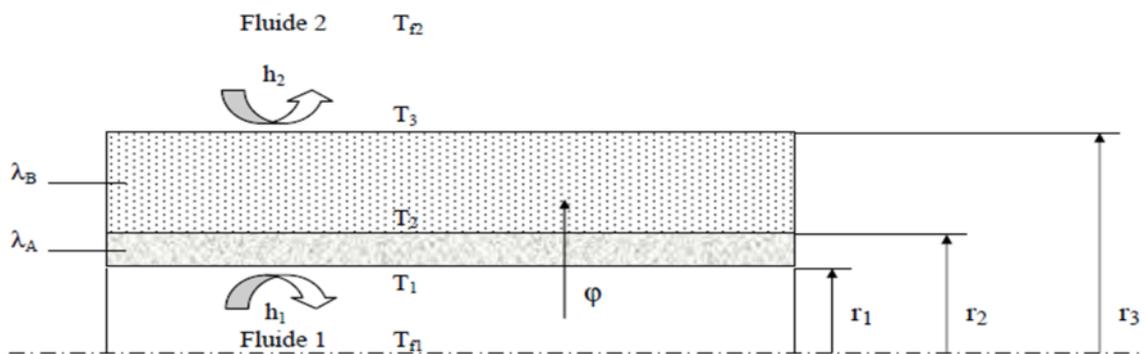


Figure III.5 : Schéma des transferts dans un cylindre creux multicouches

L = longueur de cylindre

h_i = coefficient d'échange intérieur

h_e = coefficient d'échange extérieur

λ_B : La conductivité thermique de l'isolant

λ_A : La conductivité thermique de l'acier

$$R_3 = R_2 + e_i \tag{III.36}$$

$$e_i = R_3 - R_2 \tag{III.37}$$

- Calcul coefficient d'échange avec la loi de convection forcée:

$$\frac{h_c \cdot D_o}{\lambda_{air}} = C \cdot Re^n \tag{III.38}$$

$$Re = \frac{\rho_{air} \times V \times D_o}{\mu_f} \tag{III.39}$$

$$h_e = c \cdot Re^n \cdot \lambda_{air} / D_o \tag{III.40}$$

h_e : Coefficient d'échange

D_o : Diametre de cylindre

λ_{air} : Conductivité thermique de l'air

Re : nombre de Reynolds

ρ_{air} : Masse volumique de l'air

V : vitesse de vent

μ_f : viscosité dynamique

C et n sont des constantes empiriques dont les valeurs numériques varient avec le nombre de Reynolds comme le montre le tableau suivant :

Tableau III.1 : Quelques valeurs des coefficients n et C [26]

n	C	Re
0.330	0.891	0.4 - 4
0.385	0.821	4 - 40
0.466	0.615	40 - 4000
0.618	0.174	4000 - 40000
0.805	0.0239	40000 - 400000

La Resistance thermique sans isolation

$$R_{th0} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R1 \cdot L \cdot h_i} + \frac{\ln(\frac{R2}{R1})}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_a L} + \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R1 \cdot L \cdot h_e} \tag{III.41}$$

La Resistance thermique avec isolation

$$R_{th} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R1 \cdot L \cdot h_i} + \frac{\ln(\frac{R2}{R1})}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_a L} + \frac{\ln(\frac{R2+e_i}{R2})}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_b L} + \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot h_e L (R2+e_i)} \tag{III.42}$$

Pour

Φ minimale = R_{th} maximale

$$\Phi = \frac{\partial T}{R_{th}} = \frac{T_r - T_a}{R_{th}} \tag{III.43}$$

$$\Phi_0 = \frac{\partial T}{R_{th0}} = \frac{T_r - T_a}{R_{th0}} \tag{III.44}$$

Pour minimiser les pertes thermiques a 50%

$$R_{th} = 2R_{th0} \tag{III.45}$$

On trouvera dans le tableau (III.2) les valeurs de la conductivité thermique λ de certains matériaux parmi les plus courants

Tableau III.2: Conductivité thermique de certains matériaux [27]

Matériau	λ (W.m ⁻¹ . °C ⁻¹)	Matériau	λ (W.m ⁻¹ . °C ⁻¹)
Argent	419	Plâtre	0,48
Cuivre	386	Amiante	0,16
Aluminium	204	Bois (feuillu-résineux)	0,12-0,23
Acier doux	45	Liège	0,044-0,049
Acier inox	15	Laine de roche	0,038-0,041
Glace	1,88	Laine de verre	0,035-0,051
Béton	1,4	Polystyrène expansé	0,036-0,047
Brique terre cuite	1,1	Polyuréthane (mousse)	0,030-0,045
Verre	1,0	Polystyrène extrudé	0,028
Eau	0,60	Air	0,026

6 Système d'équations obtenu

Les différents bilans thermiques effectués permettent d'aboutir au système d'équations suivant

$$\alpha_1 \cdot G + h_{ge} \cdot (T_e - T_g) + F_{pg} \epsilon_g \cdot \sigma (\epsilon_p T_p^4 - T_g^4) - \epsilon \cdot \sigma (T_g^4 - T_v^4) - h_{ga} (T_g - T_a) = \left(\frac{M_g \cdot C_g}{s} \right) \frac{dT_g}{dt}$$

$$\alpha_2 \tau \cdot G - F_{pg} S \cdot \epsilon_p \sigma (T_p^4 - \epsilon_g T_g^4) - S \cdot h_{pe} \cdot (T_p - T_e) - K_{ia} (T_p - T_a) = \left(\frac{M_p \cdot C_p}{s} \right) \frac{dT_p}{dt}$$

$$\dot{m} C_3 dT_e - S \cdot h_e \cdot (T_g - T_e) - S \cdot h_{pe} \cdot (T_p - T_e) = -M_e \cdot C_e \cdot \frac{dT_e}{dt}$$

$$\dot{m}C_e(T_s - T_r) - K_{r2} \cdot (T_r - T_a) - 2S'_2 \cdot K_{r3} \cdot (T_r - T_a) = M_r \cdot C_r \cdot \frac{dT_r}{dt}$$

Les équations obtenues étant non linéaires, la résolution de ce système s'effectuera par une méthode numérique.

7 Résolutions du système d'équation

7.1 Discrétisation des équations

$$\frac{M_g C_g}{S} \cdot \frac{T_g^{t+dt} - T_g^t}{\Delta t} = \alpha_1 G + h_{ge} (T_e^{t+dt} - T_g^{t+dt}) + F_{pg} \varepsilon \sigma (\varepsilon_p T_p^{4t+dt} - T_g^{4t+dt}) + \varepsilon \sigma (T_v^4 - T_g^{4t+dt}) + h_{ga} (T_a - T_g^{t+dt})$$

$$\frac{M_p C_p}{S} \cdot \frac{T_p^{t+dt} - T_p^t}{\Delta t} = \alpha_2 \tau G - F_{pg} \varepsilon \sigma (T_p^{4t+dt} - T_g^{4t+dt}) - h_{pe} (T_p^{t+dt} - T_e^{t+dt}) - k_{ia} (T_p^{t+dt} - T_a)$$

$$- \frac{M_e C_e}{S} \cdot \frac{T_{ei}^{t+dt} - T_{ei}^t}{\Delta t} = m C_e (T_{ei+1}^{t+dt} - T_{ei-1}^{t+dt}) - h_{ge} (T_{gi}^{t+dt} - T_{ei}^{t+dt}) - h_{pe} (T_{pi}^{t+dt} - T_{ei}^{t+dt})$$

$$M_r C_e \frac{T_r^{t+dt} - T_r^t}{\Delta t} = m C_e (T_s^{t+dt} - T_r^{t+dt}) + K_{r2} (T_a - T_r^{t+dt}) + 2S_2 K_{r3} (T_a - T_r^{t+dt})$$

7.2 Résolution du système des équations discrétisées

$$T_{gi}^{t+dt} = A + B T_{ei}^{t+dt} + C T_{pi}^{4t+dt} + D T_{gi}^{4t+dt} + E T_{gi}^t$$

$$T_{pi}^{t+dt} = G + H T_{ei}^{t+dt} + I T_{gi}^{4t+dt} + J T_{pi}^{4t+dt} + K T_{pi}^t$$

$$T_{ei}^{t+dt} + R(T_{ei+1}^{t+dt} - T_{ei-1}^{t+dt}) = N T_{ei}^t + L T_{gi}^{t+dt} + M T_{pi}^{t+dt}$$

$$T_r^{t+dt} = P + Q T_r^t + O T_s^{t+dt}$$

Avec :

$$A = \frac{\alpha_1 G + \varepsilon \sigma T_v^4 + h_{ga} T_a}{\frac{M_g C_g}{S \Delta t} + h_{ge} + h_{ga}} ; B = \frac{h_{ge}}{\frac{M_g C_g}{S \Delta t} + h_{ge} + h_{ga}} ; C = \frac{F_{pg} \varepsilon_g \sigma \varepsilon_p}{\frac{M_g C_g}{S \Delta t} + h_{ge} + h_{ga}} ; D = - \frac{F_{pg} \varepsilon \sigma - \varepsilon \sigma}{\frac{M_g C_g}{S \Delta t} + h_{ge} + h_{ga}}$$

$$E = \frac{\frac{M_g C_g}{S \Delta t}}{\frac{M_g C_g}{S \Delta t} + h_{ge} + h_{ga}} ; G = \frac{\alpha_2 \tau G + K_{ai} T_a^{t+dt}}{\frac{M_p C_p}{S \Delta t} + h_{pe} + K_{ai}} ; K = \frac{\frac{M_p C_p}{S \Delta t}}{\frac{M_p C_p}{S \Delta t} + h_{pe} + K_{ai}} ; H = \frac{h_{pe}}{\frac{M_p C_p}{S \Delta t} + h_{pe} + K_{ai}}$$

$$I = \frac{F_{pg} \varepsilon_p \varepsilon_g \sigma}{\frac{M_p C_p}{S \Delta t} + h_{pe} + K_{ai}} ; J = \frac{-F_{pg} \varepsilon_p \sigma}{\frac{M_p C_p}{S \Delta t} + h_{pe} + K_{ai}} ; L = \frac{Sh_{ge}}{\frac{M_e C_e}{\Delta t} + Sh_{ge} + Sh_{pe}} ; M = \frac{Sh_{pe}}{\frac{M_e C_e}{\Delta t} + Sh_{ge} + Sh_{pe}}$$

$$N = \frac{\frac{M_e C_e}{\Delta t}}{\frac{M_e C_e}{\Delta t} + Sh_{ge} + Sh_{pe}} ; O = \frac{m C_e}{\frac{M_r C_e}{\Delta t} + m C_e + K_{r2} + 2S_2 K_{r3}} ; P = \frac{T_a (S_r K_{r2} + 2S_2 K_{r3})}{\frac{M_r C_e}{\Delta t} + m C_e + K_{r2} + 2S_2 K_{r3}}$$

$$Q = \frac{\frac{M_r C_e}{\Delta t}}{\frac{M_r C_e}{\Delta t} + m C_e + K_{r2} + 2S_2 K_{r3}} ; R = \frac{m C_e}{\frac{M_e C_e}{\Delta t} + Sh_{ge} + Sh_{pe}}$$

8 Simulation

La simulation est faite à l'aide d'un programme établi à cet effet en langage MATLAB, pour pouvoir calculer les températures de chaque composant du capteur ainsi que le réservoir, le programme est basé sur l'enchaînement du calcul précédent, dont les étapes de l'algorithme sont résumées comme suit :

❖ Etape 1 :

Dans cette première étape, nous avons introduit toutes les constantes des équations qui régissent notre problème et qui ne dépend pas des températures du système. Il s'agit de :

- La géométrie du capteur (largeur, longueur et hauteur)
- Géométrie des chicane (longueur, épaisseur, hauteur)
- Les propriétés physiques des composants du capteur et le réservoir
- Les constantes et les valeurs de références.

❖ Etape 2 :

Dans cette étape nous avons injecté les données météorologiques.

❖ Etape 3 :

Dans la troisième étape nous avons estimé un champ des températures pour initialiser les calculs, il s'agit de :

- Température du verre
- Température de la plaque absorbante
- Température de l'eau du capteur
- Température de l'eau de réservoir

❖ Etape 4 :

Cette étape consiste à :

La détermination de du régime d'écoulement du fluide caloporteur :

- Le calcul de la section de passage d'eau
- L'évaluation de diamètre hydraulique D_h
- L'évaluation des corrélations de Reynolds et Prandtl
- L'évaluation de corrélation du nombre de NUSSELT

Au calcul des coefficient d'échange thermique tels que :

- Les coefficients de transfert radiatif et conductif.
- Coefficient d'échange convectif du au vent
- Coefficient d'échange convectif entre la vitre ou l'absorbeur et l'eau
- Les coefficients des pertes thermiques pour le réservoir et l'arrière du capteur

❖ Etape 5 :

Cette étape consiste à évaluer les températures (T_g, T_e, T_p, T_r) à partir d'une procédure itérative

❖ Etape 6 :

Cette étape consiste à tester la convergence des températures ; ce test est considéré positif si la différence maximale entre le champ de température de l'itération courante et celle de l'itération précédente est inférieure à une tolérance fixée au début

❖ Etape 7 :

Dans cette dernière étape, les résultats attendus sont visualisés par l'intermédiaire de tracés des courbes. Les grandeurs visualisées sont notamment :

- Les températures T_r et T_s , en °C

La figure suivantes exposent les organigrammes de programme pour calculer les températures de chaque composant du capteur ainsi que le réservoir

9 Organigramme de calcul

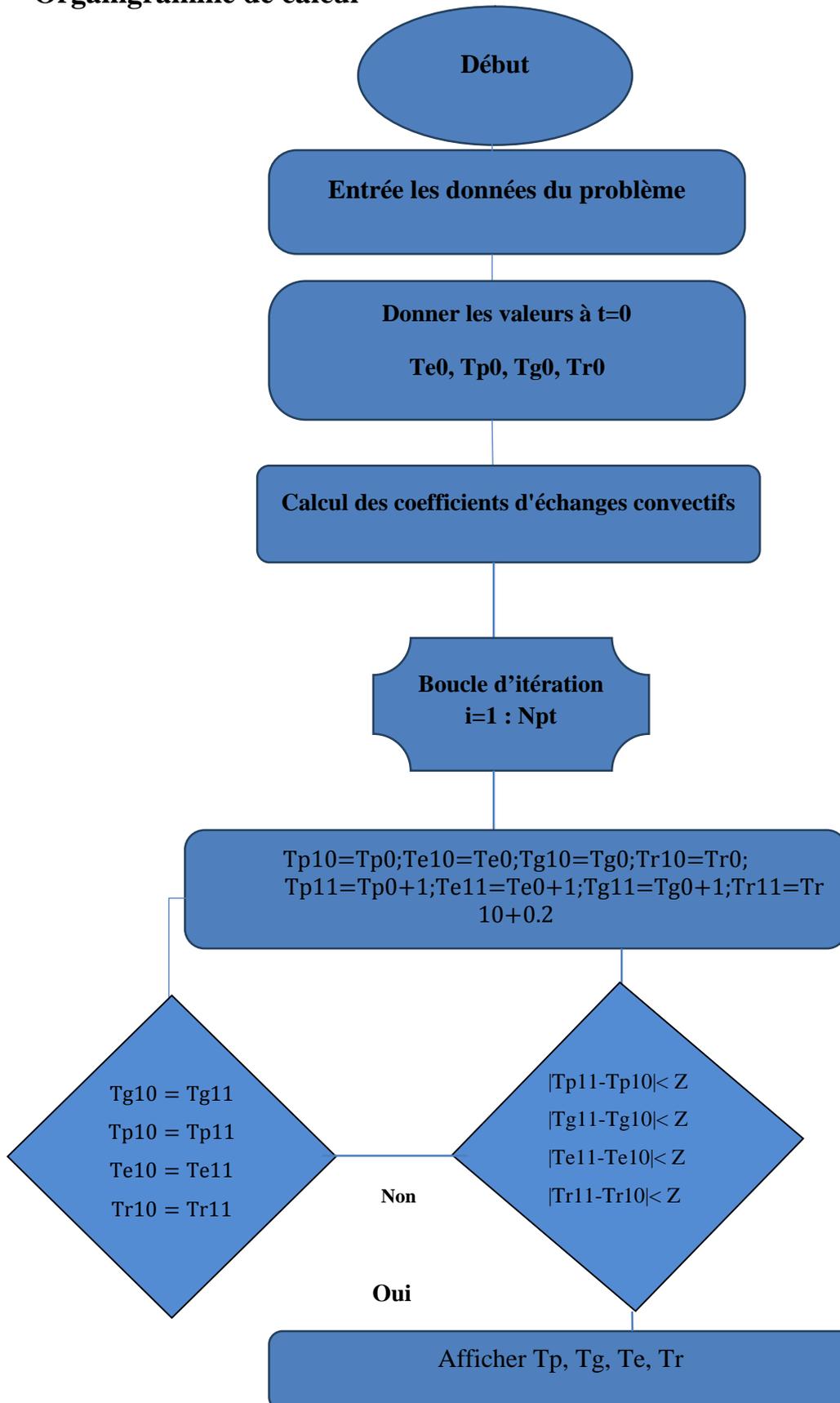


Figure III.6 : Organigramme de calcul

10 Caractéristiques du capteur étudié

Le capteur solaire plan étudié présente les caractéristiques suivantes:

- Une plaque en métal teinté en noir de surface 1 m^2 d'épaisseur égale à $0,2 \cdot 10^{-3} \text{ m}$
- Une plaque en bois
- Chicane en plexiglas de dimension $(0,9 \cdot 0,005 \cdot 0,01) \text{ (m)}$
- Une plaque en verre 1 m^2
- l'isolation postérieure en polystyrène d'épaisseur ($e_i = 2 \text{ cm}$)
- le fluide caloporteur est l'eau



Figure III.7 : panneau solaire thermique.

11 Résultats et interprétations

La résolution du système d'équations des bilans thermiques au niveau de chaque partie du capteur nous a permis d'obtenir un ensemble de résultats numériques qui sont représentés graphiquement par la suite.

➤ Angle d'inclinaison optimale

Pour obtenir un meilleur rendement, nous allons changer l'angle d'inclinaison du capteur par rapport à l'horizontale pour assurer un maximum de l'intensité solaire globale à chaque saison, et comparer par rapport à l'angle d'inclinaison optimale annuelle à TIZI OUZOU

- Angle optimale annuelle (AOA = 34°)
- Angle optimale mensuel (AOM)
 - 21 DECEMBRE AOM = $64,63^\circ$
 - 21 MARS AOM = $38,6^\circ$

21 JUNE AOM=2°

21 SEPTEMBRE=38, 33°

➤ **Les données climatiques utilisées**

Les conditions météorologiques que nous avons adopté prennent en compte les paramètres suivant :

Tableaux III.3 : LA vitesse du vent

Vitesse du vent (m /s)	21 MARS	21 JUNE	21 SEP	21 DEC
Jour	1	0,1	1,9	0,3

21-mars	
temps	T(°C)
08:30	5,46
09:30	5,9
10:30	6,9
11:30	7,9
12:30	7,95
13:30	7,05
14:30	6,15
15:30	5,7
16:30	5,7

21-juin	
temps	T(°C)
08:30	25,5
09:30	27,7
10:30	29,5
11:30	31,4
12:30	32,2
13:30	32
14:30	31,8
15:30	31,2
16:30	30,3

Tableaux.III.4: Evolution de la température de l'air au cours de la Journée

21-sept	
temps	T(°C)
08:30	23,2
09:30	24,8
10:30	26,4
11:30	28
12:30	28,8
13:30	28,89
14:30	28,95
15:30	28,2
16:30	26,85

21 DECEMBRE	
temps	T(°C)
08:30	10,4
09:30	11,4
10:30	12,8
11:30	14,3
12:30	15,3
13:30	16
14:30	16,6
15:30	16,2
16:30	14,8

Tableaux.III.5: Evolution de la température de l'air au cours de la Journée

21-mars		21-juin	
heur	Rayonnement global (W/m ²)	heur	Rayonnement global (W/m ²)
06:56	1,0929	05:44	15,188
07:30	16,69845	06:30	49,0681
08:30	74,3406	07:30	185,6676
09:30	136,1768	08:30	392,9169
10:30	188,2297	09:30	596,8238
11:30	224,6359	10:30	766,3542
12:30	242,1341	11:30	882,7054
13:30	239,2744	12:30	934,6943
14:30	216,2901	13:30	917,6144
15:30	175,1116	14:30	832,9955
16:30	119,584	15:30	688,6686
17:30	56,7838	16:30	499,3082
18:25	11,6871	17:30	288,7104
		18:30	98,9559
		19:30	30,0304

Tableaux.III.6: Evolution de l'intensité du rayonnement solaire au cours de la Journée (AOA= 34°)

21-déc		21-sept	
heur	Rayonnement global (W/m ²)	heur	Rayonnement global (W/m ²)
07:58	1,1424	06:48	14,7855
08:30	63,1206	07:30	117,6252
09:30	322,4314	08:30	358,6695
10:30	537,0313	09:30	594,967
11:30	676,8901	10:30	785,3934
12:30	735,8741	11:30	910,2161
13:30	711,3459	12:30	958,5556
14:30	604,4195	13:30	926,4359
15:30	419,7281	14:30	816,487
16:30	168,6979	15:30	638,1231
17:13	20,1499	16:30	408,9027
		17:30	162,934
		18:17	26,1605

Tableaux.III.7: Evolution de l'intensité du rayonnement solaire au cours de la Journée (AOA= 34°)

21-mars		21-juin	
38,6°		2°	
heur	Rayonnement global (W/m ²)	heur	Rayonnement global (W/m ²)
06:56	4,2824	05:49	17,1622
07:30	66,1963	06:30	103,4944
08:30	297,331	07:30	290,3582
09:30	545,5703	08:30	491,3069
11:30	754,5784	09:30	674,8287
12:30	900,7703	10:30	822,824
13:30	971,0372	11:30	922,9573
14:30	959,5537	12:30	967,4185
15:30	867,2565	13:30	952,8286
16:30	701,9033	14:30	880,2915
17:30	478,9513	15:30	755,372
18:30	226,8751	16:30	588,0637
18:25	46,389	17:30	393,216
		18:30	193,598
		19:30	38,1598
		20:00	0,3843

Tableaux.III.8: Evolution de l'intensité du rayonnement solaire au cours de la Journée

(AOM)

21-sept		21 DEC	
38,8°		64,38°	
heur	Rayonnement global (W/m ²)	heur	Rayonnement global (W/m ²)
06:48	14,5301	07:59	0,9577
07:30	117,0591	08:30	71,2008
08:30	358,7524	09:30	379,7012
09:30	595,8745	10:30	612,5911
10:30	787,0035	11:30	757,8487
11:30	912,296	12:30	818,0312
12:30	960,8188	13:30	793,0719
13:30	928,5773	14:30	683,0791
14:30	818,2136	15:30	487,1413
15:30	639,1879	16:30	201,3354
16:30	409,1537	17:14	20,9859
17:30	162,4513		
18:18	25,8229		

Tableaux.III.9: Evolution de l'intensité du rayonnement solaire au cours de la Journée

(AOM)

- Evolution de l'intensité du rayonnement solaire et la température de l'air au cours de la journée (21 MARS -21 JUIN –21 SEPTEMBRE -21 DECEMBRE)

a) Pendant l'Hiver (date:21 DECEMBRE)

Les figures ci dessous montrent l'évolution de l'intensité du rayonnement solaire et la température de l'air au cours de la journée de 21 décembre. On remarque que l'intensité du rayonnement solaire global atteint le sommet entre 12H et 13H, la valeur maximal de cette dernière est a 820 (w/m^2) pour AOM et a ($735 w/m^2$) pour AOA.

Pour ce qui concerne la température de l'air, on constate une évolution remarquable durant la journée jusqu'à 15h la ou elle atteint sa valeur maximale qui est $16,6^{\circ}C$, a partir de 15 h la température commence à baisser.

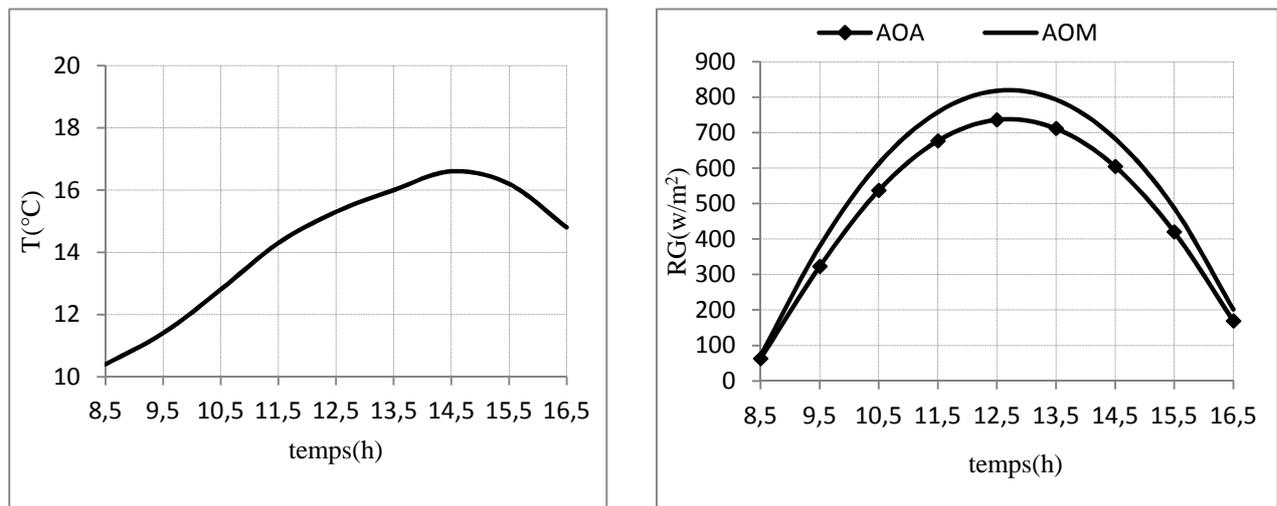


Figure III.8: Evolution de l'intensité du rayonnement solaire et la température de l'air au cours de la Journée du 21 DECEMBRE

b) Pendant le Printemps (date : 21 MARS)

Les figures ci dessous montrent l'évolution de l'intensité du rayonnement solaire et la température de l'air au cours de la journée de 21 mars.

Suite aux résultats obtenus on constate que l'intensité du rayonnement solaire global atteint son maximum entre 12H et 13H, les valeurs maximales de cette intensité du rayonnement solaire atteint les $971(w/m^2)$ pour AOM et a $968,54(w/m^2)$ pour AOA.

Pour ce qui concerne la température de l'air, on constate une variation légère durant la

journée. On remarque que la température augmente graduellement aux premières heures de la journée pour atteindre sa valeur maximale (8°C) après elle commence à décroître.

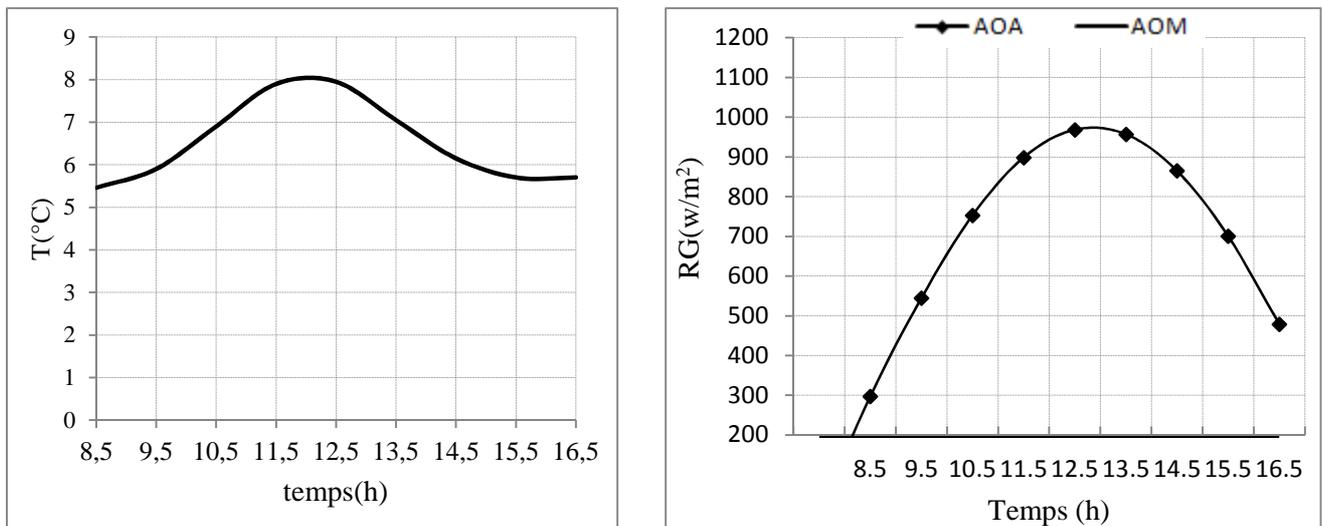


Figure III.9: Evolution de l'intensité du rayonnement solaire et la température de l'air au cours de la Journée du 21 MARS

c) Pendant le l'Eté (date : 21 Juin)

Les figures ci dessous montrent l'évolution de l'intensité du rayonnement solaire et la température de l'air au cours de la journée de 21 JUIN.

On observe que l'évolution de l'intensité du rayonnement solaire global atteint son maximum 967(w /m²) pour AOM et 934(w /m²) pour AOA entre 12 H et 13H.

La température de l'air, elle augmente au cours de tempes jusqu'a elle atteint sa valeur maximale (32,2 °C) a 12H 30 après elle commence a démunie.

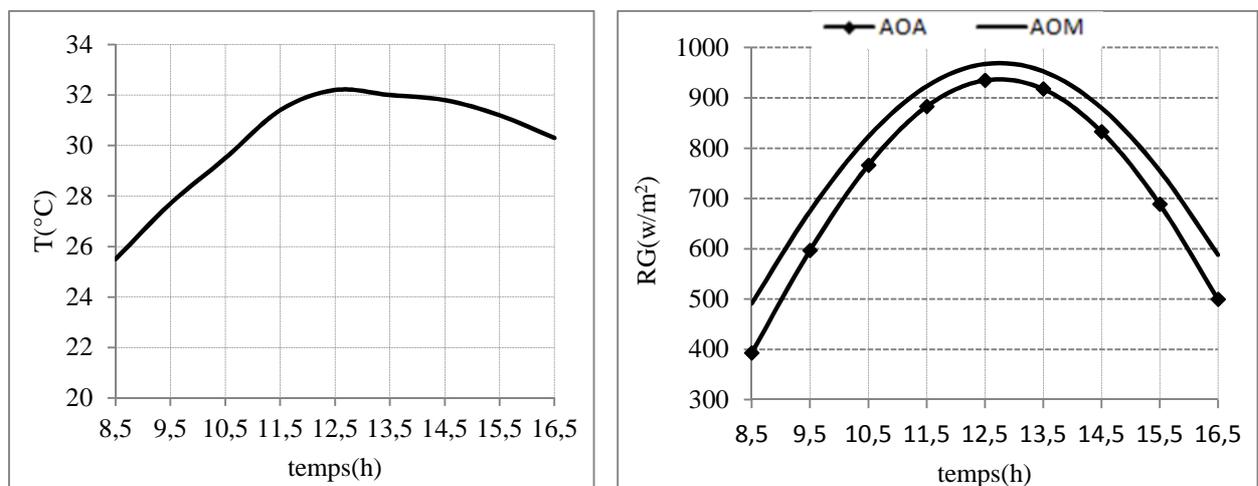


Figure III.10: Evolution de l'intensité du rayonnement solaire et la température de l'air au cours de la Journée du 21 JUIN

D) Pendant l'automne (date : 21 SEPTEMBRE)

Les figures ci dessous montrent l'évolution de l'intensité du rayonnement solaire et la température de l'air au cours de la journée de 21 septembre.

L'intensité du rayonnement solaire global augmente jusqu'à elle atteint sa valeur maximale 960(w /m²) pour AOM et 958(w /m²) pour AOA (des valeurs très proche) entre 12H et 13H. Après elle commence à diminuer.

La température de l'air elle varie en fonction de temps, elle augmente graduellement aux premières heures de la journée pour atteindre des valeurs maximales 29°C entre 13H30 et 14 H30 après elle commence à diminuer.

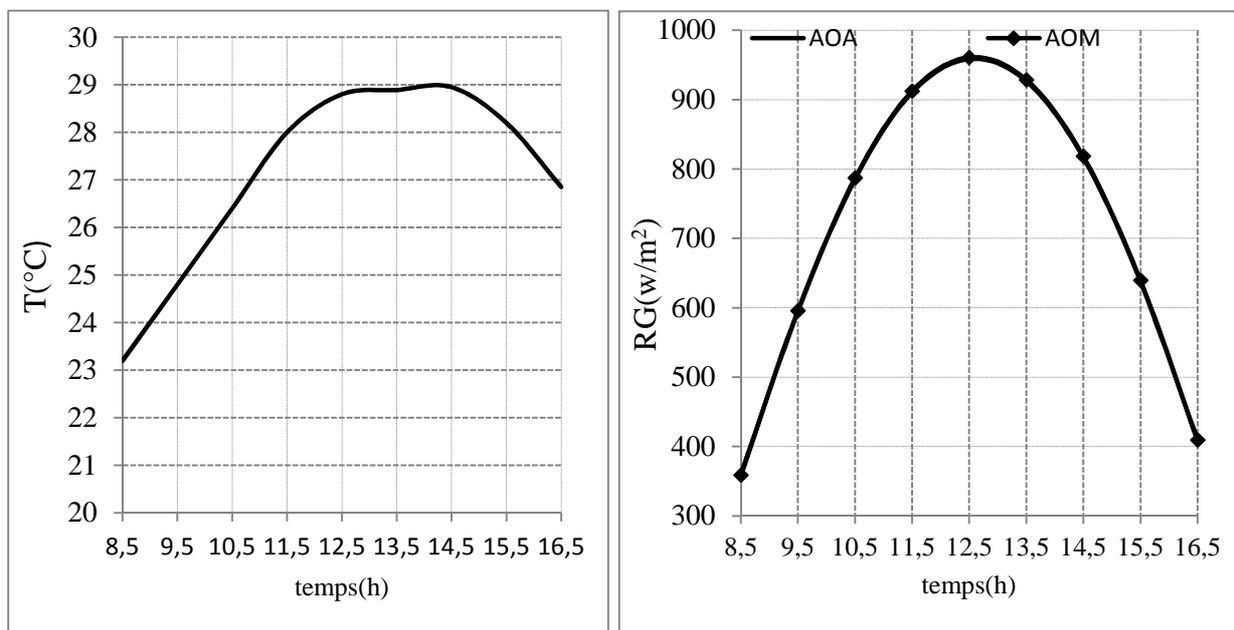


Figure III.11: Evolution du l'intensité de rayonnement solaire et la température de l'air au cours de la Journée du 21 SEPTEMBRE

➤ **isolation thermique de réservoir**

Tableaux.III.10 : épaisseur de l'isolant de réservoir

Capacité de réservoir (litre)	50	100	150	200
Epaisseur de l'isolant (mm)	17,3	22	26,2	28 ,6

➤ **Présentations des propriétés du capteur solaire thermique****Tableaux.III.11.**propriété du capteur étude [28]

Propriété	valeurs	Unité
La vitre		
Emissivité	0.93	-
Transitivité	0.86	-
Absorptivité	0.15	-
Chaleur spécifique	500	[J/kg.k]
Epaisseur	0.005	[m]
Conductivité	1	[W/m ² .k]
Masse volumique	2530	[Kg/m ³]
La plaque absorbante		
Emissivité	0.87	-
Absorptivité	0.95	-
Chaleur spécifique	50	[J/kg.k]
Epaisseur	0.0012	[m]
Conductivité	250	[W/m ² .k]
Masse volumique	2700	[Kg/m ³]
L'eau		
Chaleur spécifique	4180	[J/kg.k]
Conductivité	0.6	[W/m ² .k]
Masse volumique	1000	[Kg/m ³]

❖ **Condition initiale**

A l'instant initial

Le débit du fluide est 0.014(kg /s)

L'ensemble des températures des éléments constituants.

Le panneau solaire (vitre, l'absorbant, l'eau), sont considérés à la même température de l'air.

La simulation sont réalisées pour les journées d'équinoxes et de solstices le panneau solaire est orienté à plein sud selon deux angles d'inclinaison :

AOA : angle optimal annuel qui est proche de la latitude du lieu c'est à dire $AOA = 34^\circ$

AOM : angle optimale annuel qui est fonction du mois considéré :

21 mars AOM = $38,8^\circ$

21 sep AOM= $38,6^\circ$

21déc AOM= $64,38^\circ$

21 Juin AOM= 2°

➤ Evolution de la température du l'eau pour différents volumes de réservoir en fonction de temps

❖ 21 MARS

a) Pour un réservoir de stockage de 50L

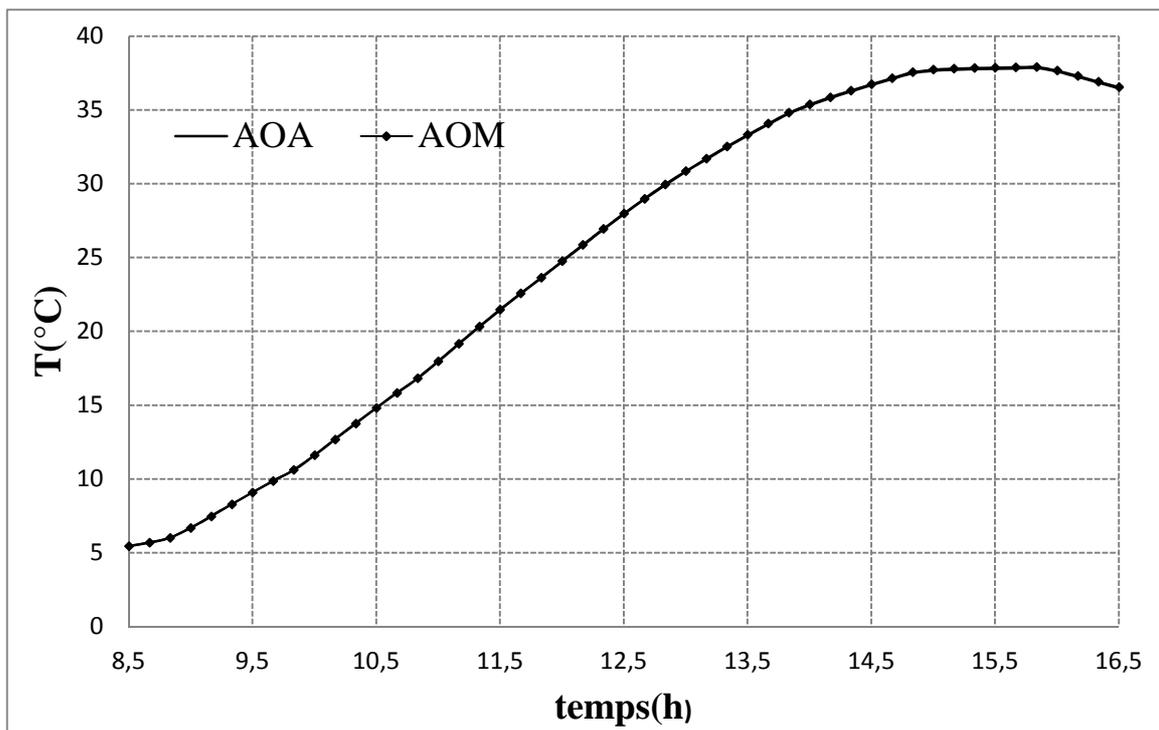


Figure III.12 : Evolution de température de l'eau du réservoir au cours du temps

b) Pour un réservoir de stockage de 100L

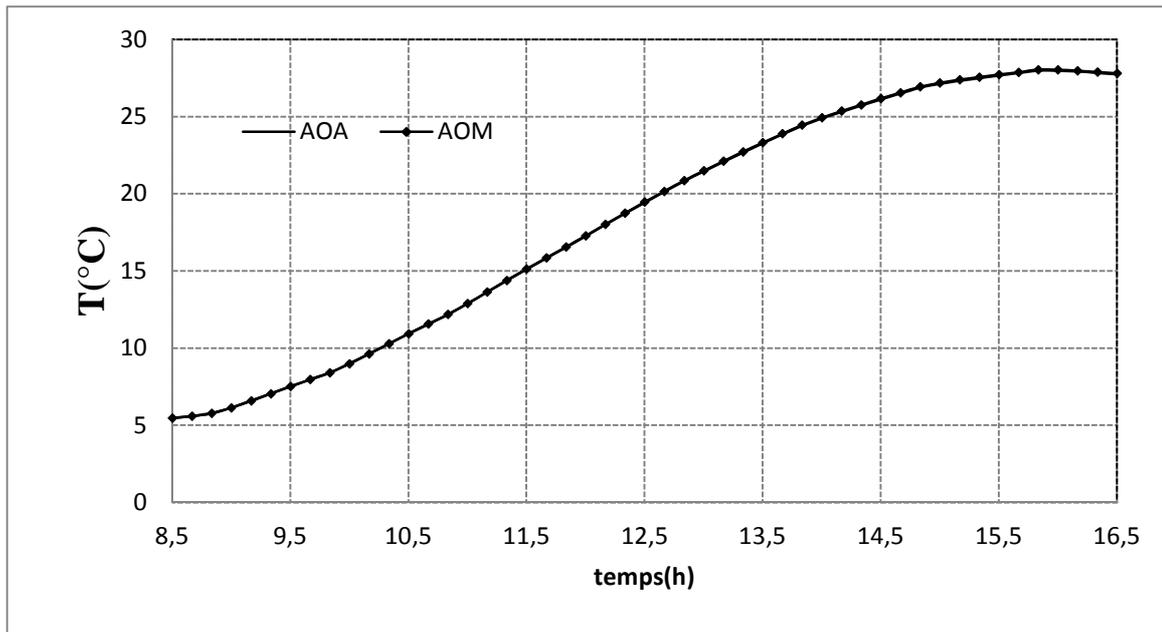


Figure III.13: Evolution de température de l'eau du réservoir au cours du temps

c) Pour un réservoir de stockage de 150L

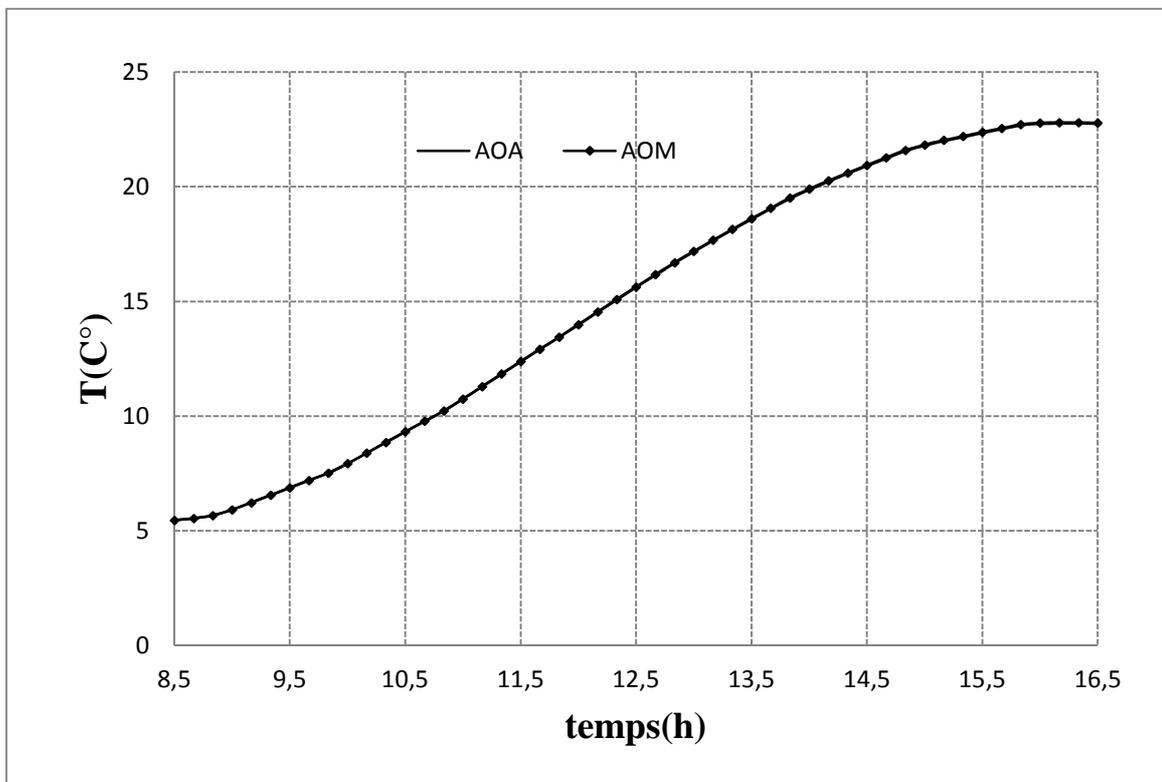


Figure III.14 : Evolution de température de l'eau du réservoir au cours du temps

D) Pour un réservoir de stockage de 200L

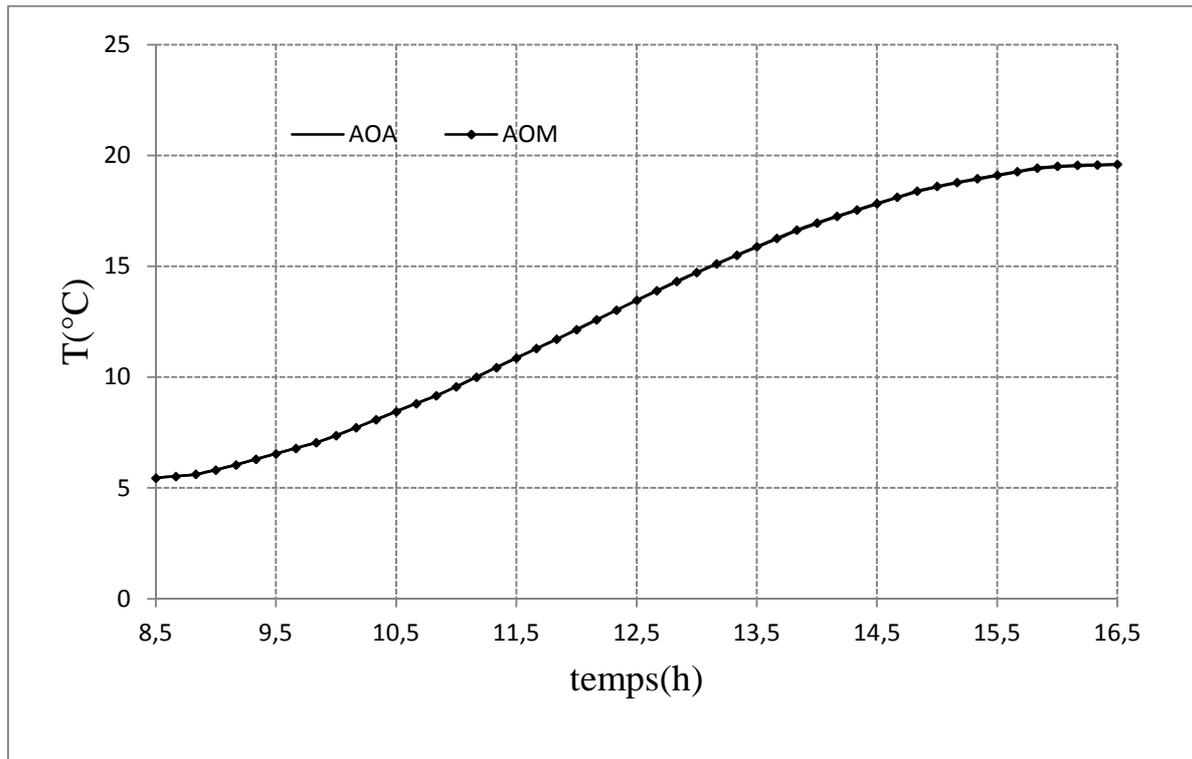


Figure III.15 : Evolution de température de l'eau du réservoir au cours du temps

Les figures ci-dessus montrent l'évolution de la température de l'eau de réservoir pour des différents volumes (50, 100, 150, 200) litres en fonction de temps durant la journée de 21 mars. Suite au résultat obtenu on remarque une légère différence de température de l'eau de réservoir pour AOA et AOM, l'évolution de la température est due à l'augmentation de rayonnement solaire.

On remarque aussi que l'augmentation de volume d'eau conduit à la diminution de température d'eau.

Les températures maximales atteintes pour AOA et AOM

- Réservoir de 50 L : (37,38°C) pour AOA et (37,92°C) pour AOM
- Réservoir de 100L : (27,98°C) pour AOA et (28,05°C) pour AOM
- Réservoir de 150L : (22,75°C) pour AOA et (22,80°C) pour AOM
- Réservoir de 200L : (19,58°C) pour AOA et (19,62°C) pour AOM

❖ 21 JUIN

a) Pour un réservoir de stockage de 50L

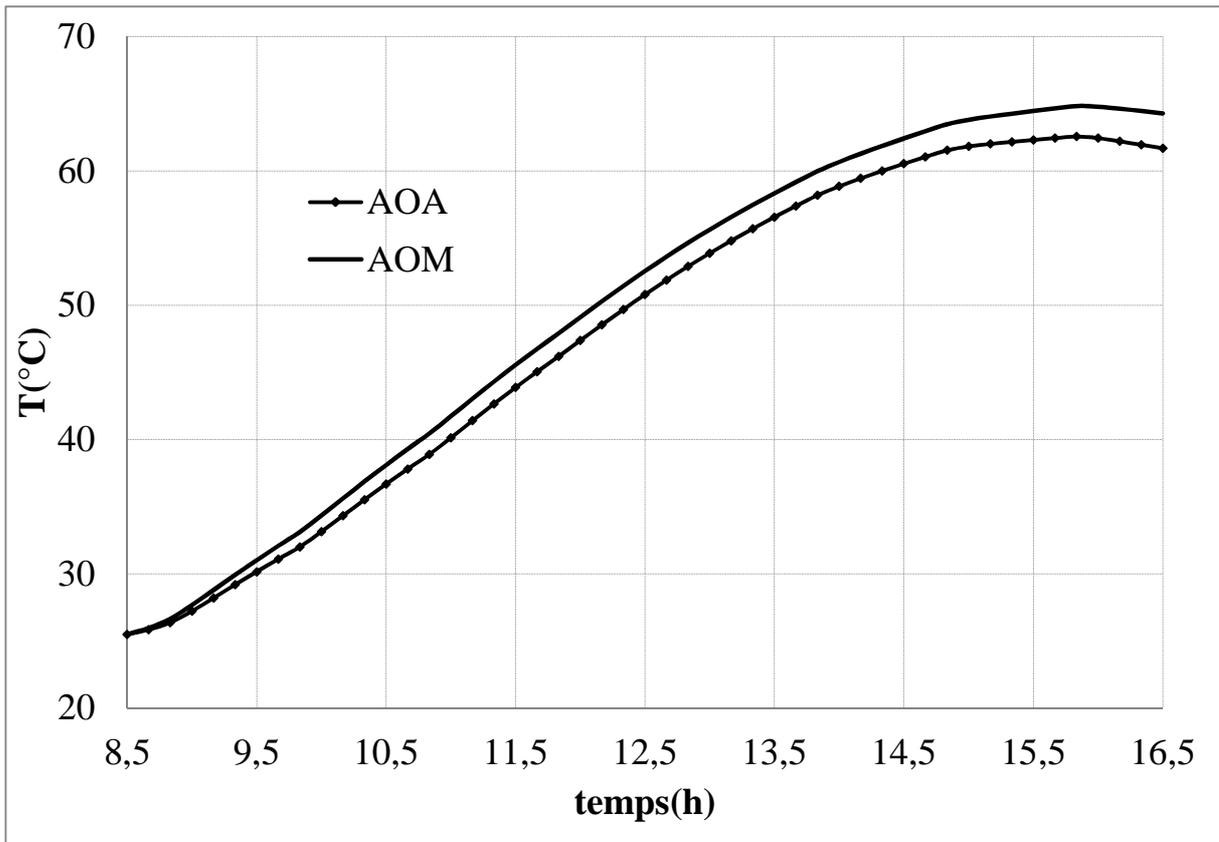


Figure III.16 : Evolution de température de l'eau du réservoir au cours du temps

b) Pour un réservoir de stockage de 100L

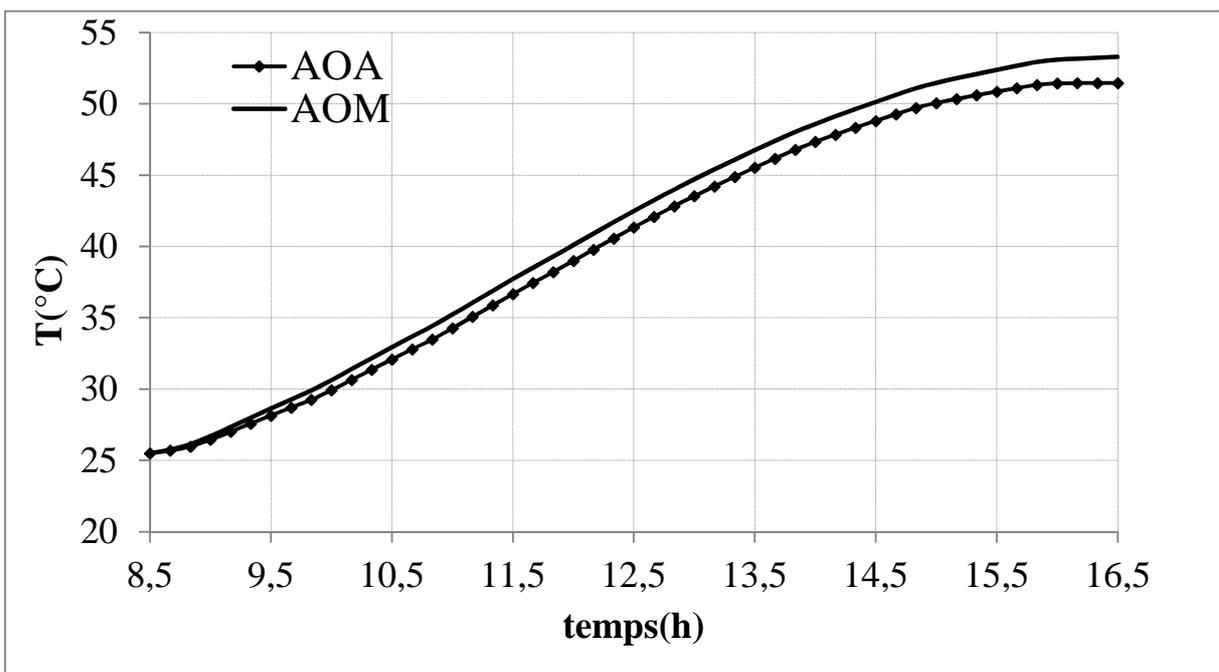


Figure III.17 : Evolution de température de l'eau du réservoir au cours du temps

c) Pour un réservoir de stockage de 150L

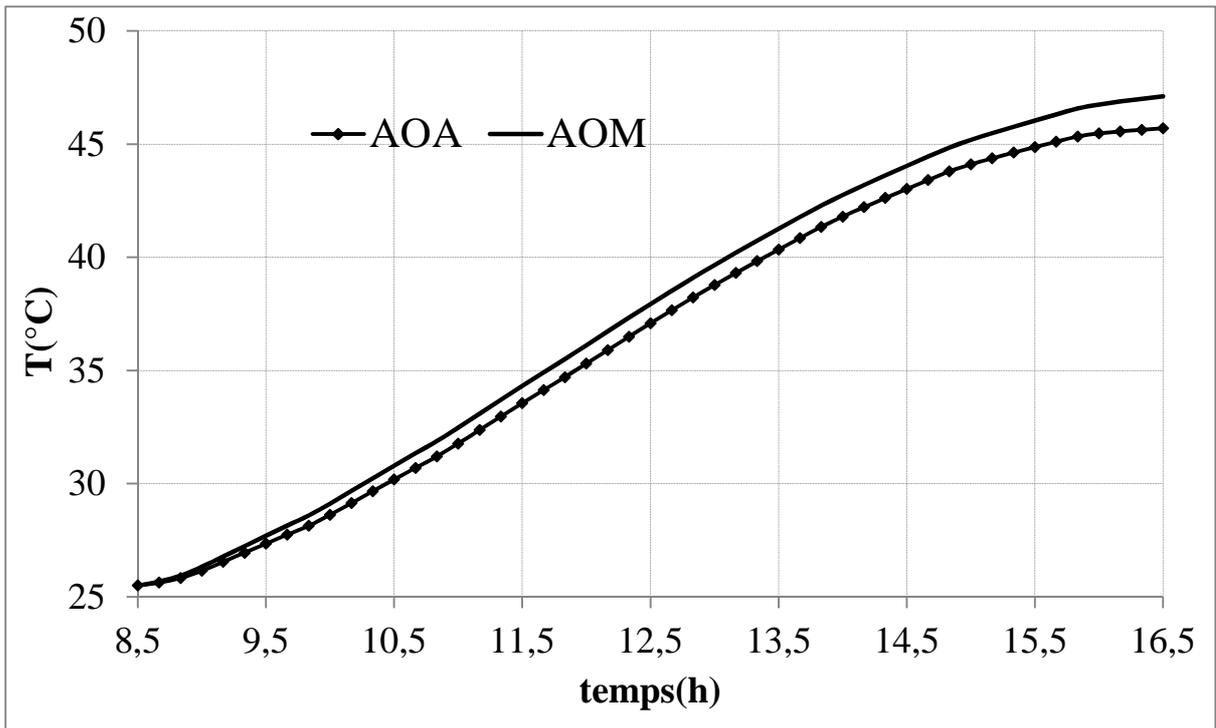


Figure III.18 : Evolution de température de l'eau du réservoir au cours du temps

d) Pour un réservoir de stockage de 200L

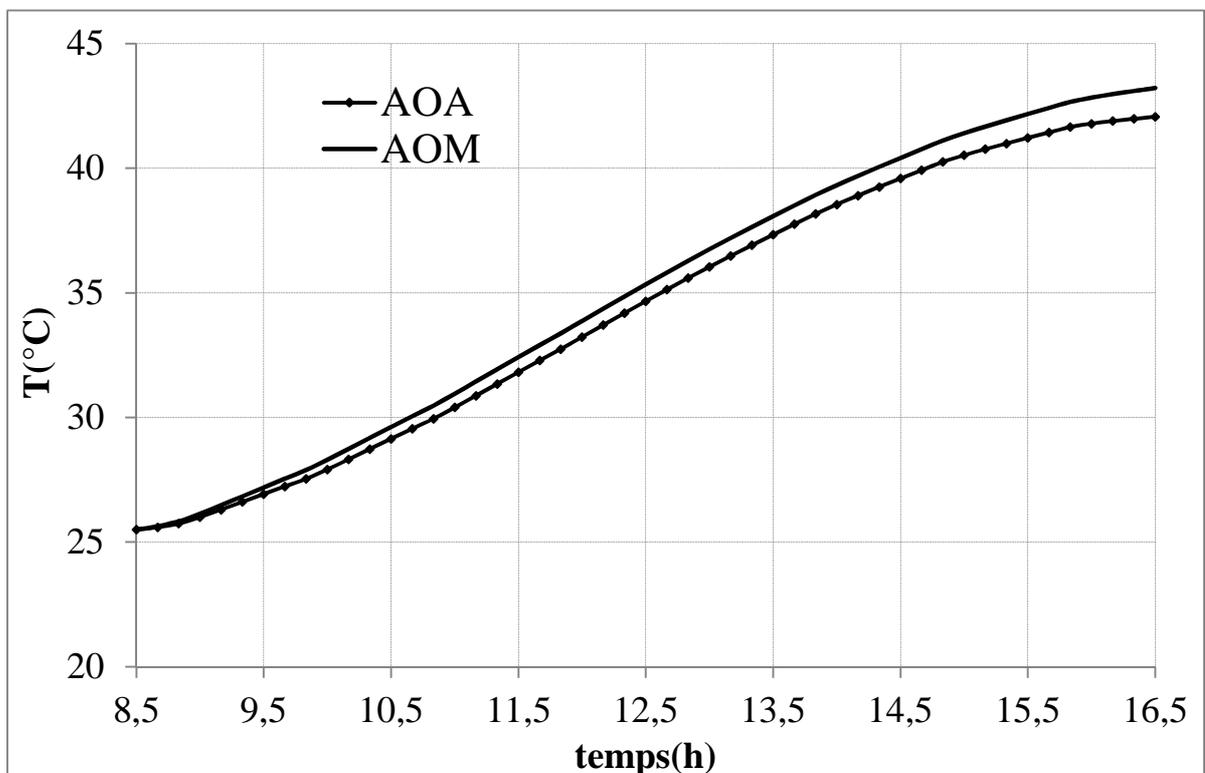


Figure III.19: Evolution de température de l'eau du réservoir au cours du temps

Les figures ci-dessus montrent l'évolution de la température de l'eau de réservoir pour des différents volumes (50, 100, 150, 200) litres en fonction de temps durant la journée de 21 Juin.

On observe une évolution remarquable de température de l'eau de réservoir pour AOM et AOA.

On remarque que la température de l'eau de réservoir augmente avec l'augmentation de l'intensité du rayonnement solaire et l'augmentation de la température de l'air.

On remarque aussi que l'augmentation de volume d'eau conduit à la diminution de température d'eau.

- Réservoir de 50 L : (62,56°C) pour AOA et (64,82°C) pour AOM
- Réservoir de 100L : (51,64°C) pour AOA et (53,30°C) pour AOM
- Réservoir de 150L : (45,70°C) pour AOA et (47,10°C) pour AOM
- Réservoir de 200L : (42,06°C) pour AOA et (43,22°C) pour AOM

❖ **21 septembre**

a) Pour un réservoir de stockage de 50L

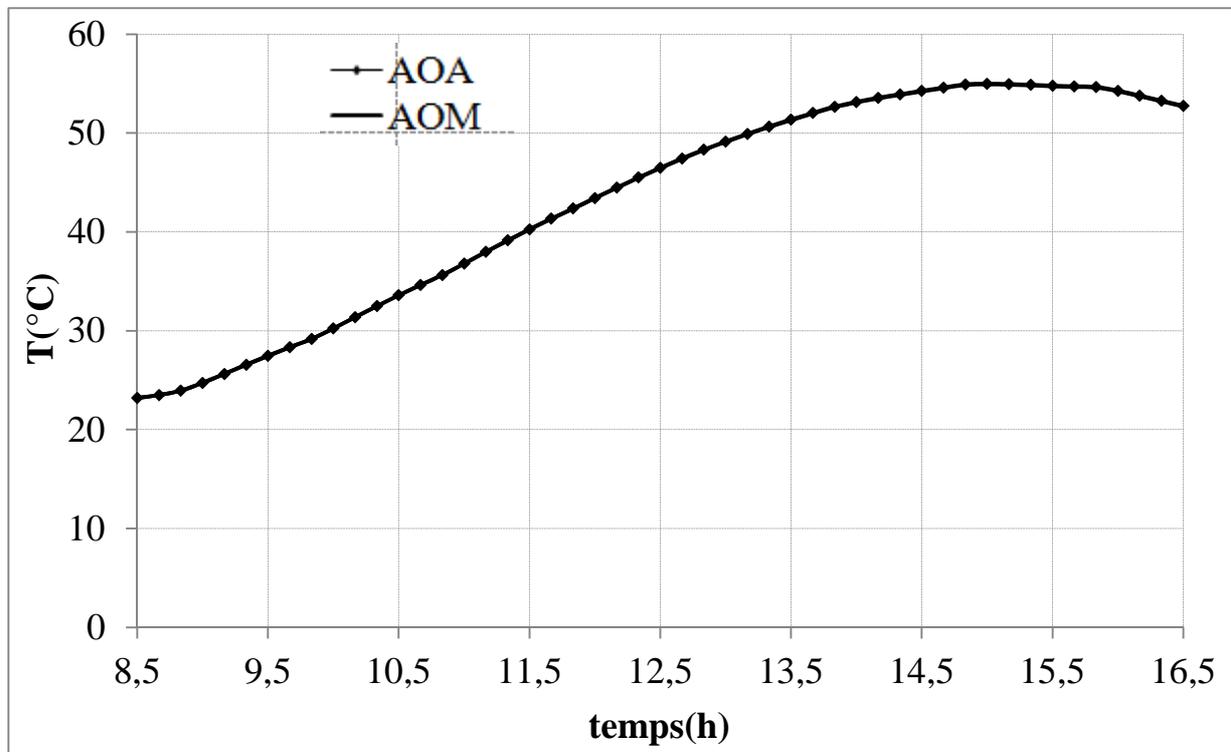


Figure III.20: Evolution de température de l'eau du réservoir au cours du temps

b) Pour un réservoir de stockage de 100L

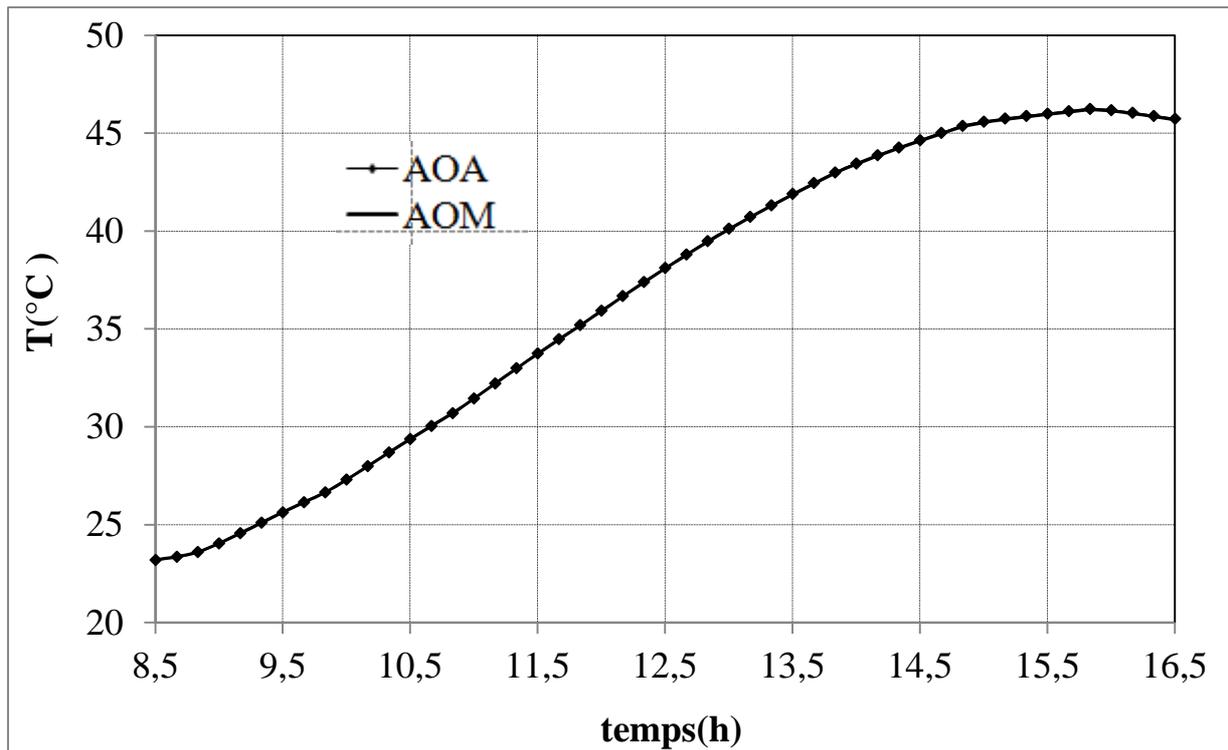


Figure III.21: Evolution de température de l'eau du réservoir au cours du temps

b) Pour un réservoir de stockage de 150L

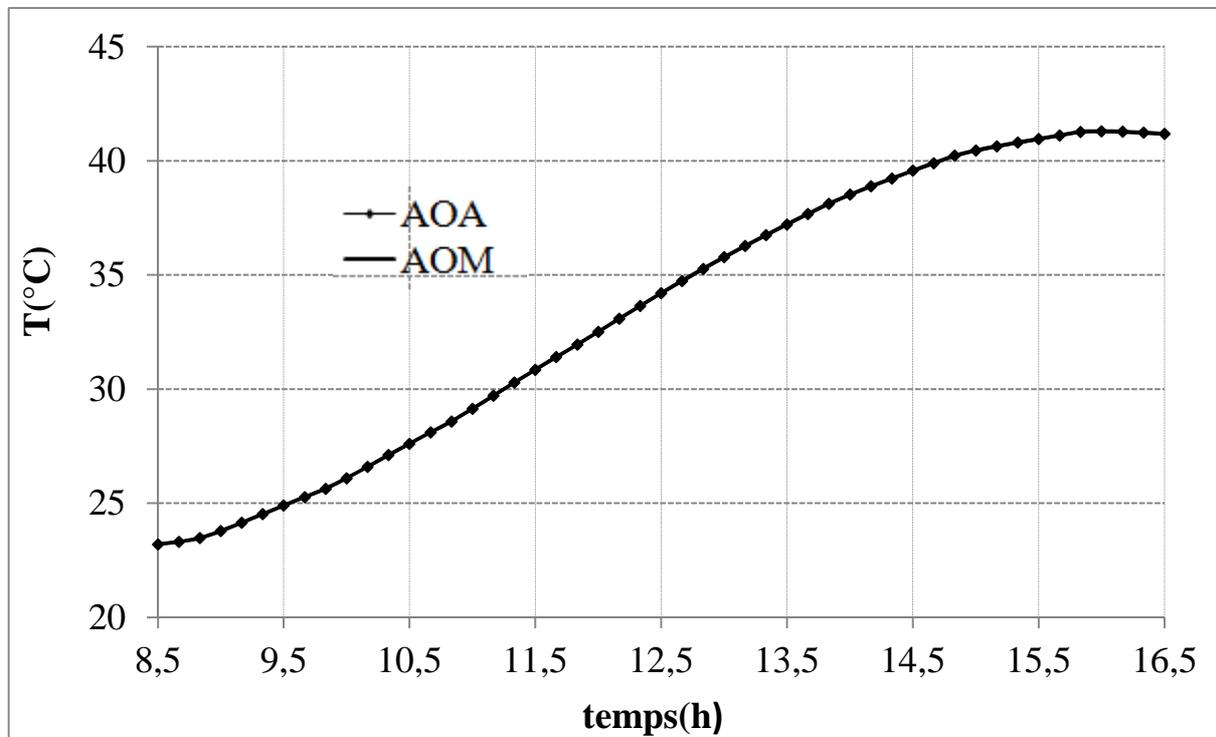


Figure III.22: Evolution de température de l'eau du réservoir au cours du temps

d) Pour un réservoir de stockage de 200L

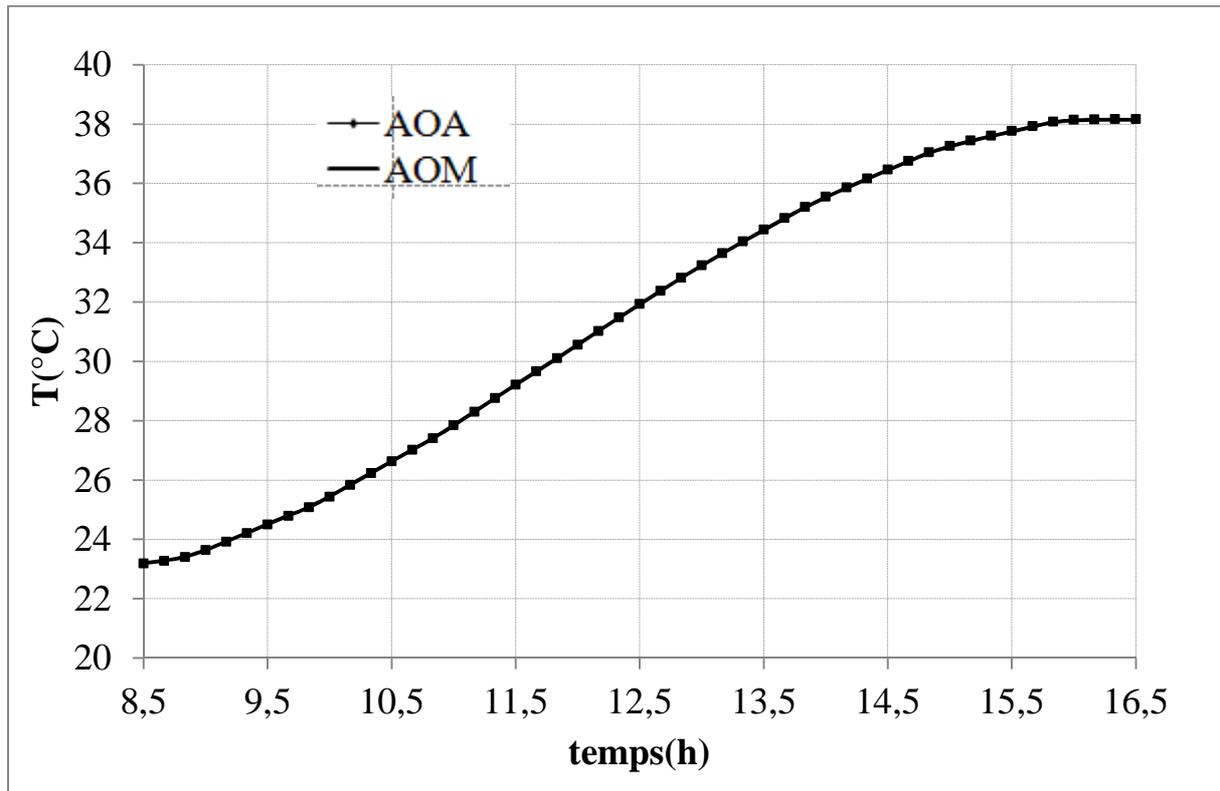


Figure III.23: Evolution de température de l'eau du réservoir au cours du temps

Les figures ci-dessus montrent l'évolution de la température de l'eau de réservoir pour des différents volumes (50, 100, 150, 200) litres en fonction de temps durant la journée de 21 septembre.

Suite aux résultats obtenus on remarque que la température de l'eau de réservoir pour AOA et AOM sont très proches, cette dernière augmente au cours de temps jusqu'à atteindre sa valeur maximale entre 15H et 16 H, après elle commence à diminuer.

On remarque aussi que l'augmentation de volume d'eau conduit à la diminution de température d'eau.

- Réservoir de 50 L : (54,92°C) pour AOA et (54,98°C) pour AOM
- Réservoir de 100L : (46,16°C) pour AOA et (46,24°C) pour AOM
- Réservoir de 150L : (41,27°C) pour AOA et (41,31°C) pour AOM
- Réservoir de 200L : (38,15°C) pour AOA et (38,17°C) pour AOM

❖ 21 décembre

a) Pour un réservoir de stockage de 50L

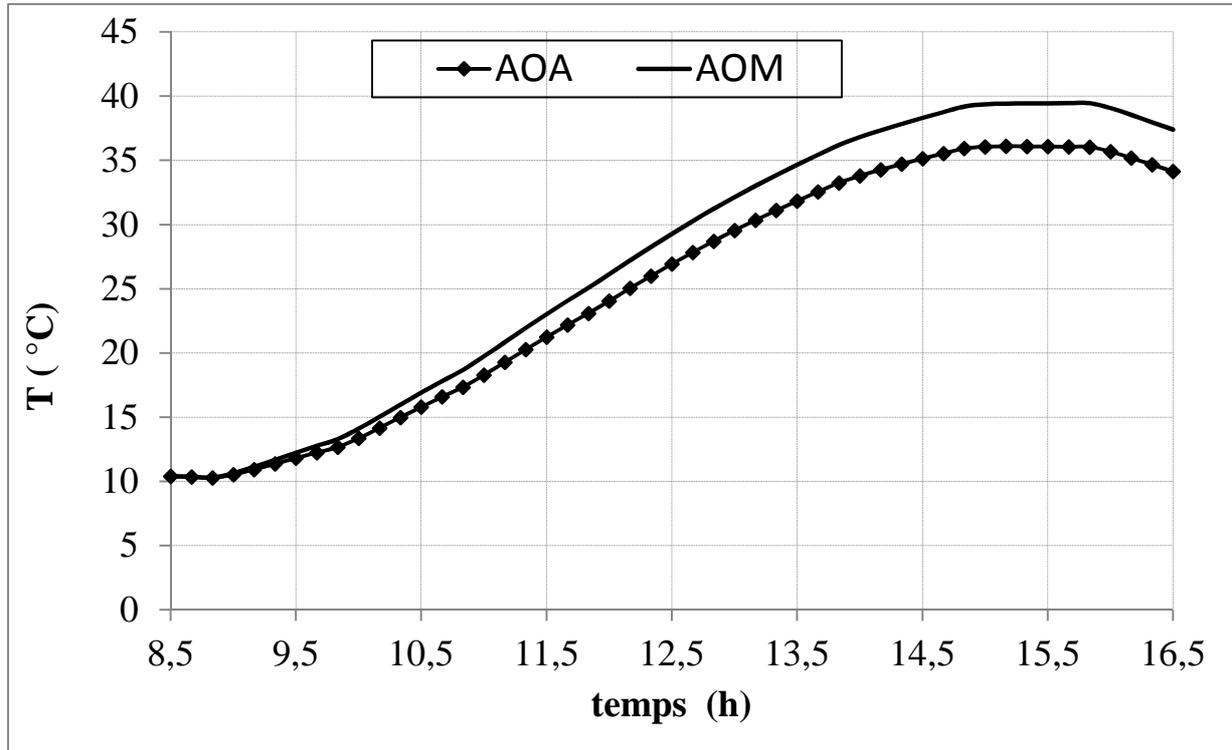


Figure III.24: Evolution de température de l'eau du réservoir au cours du temps

b) Pour un réservoir de stockage de 100L

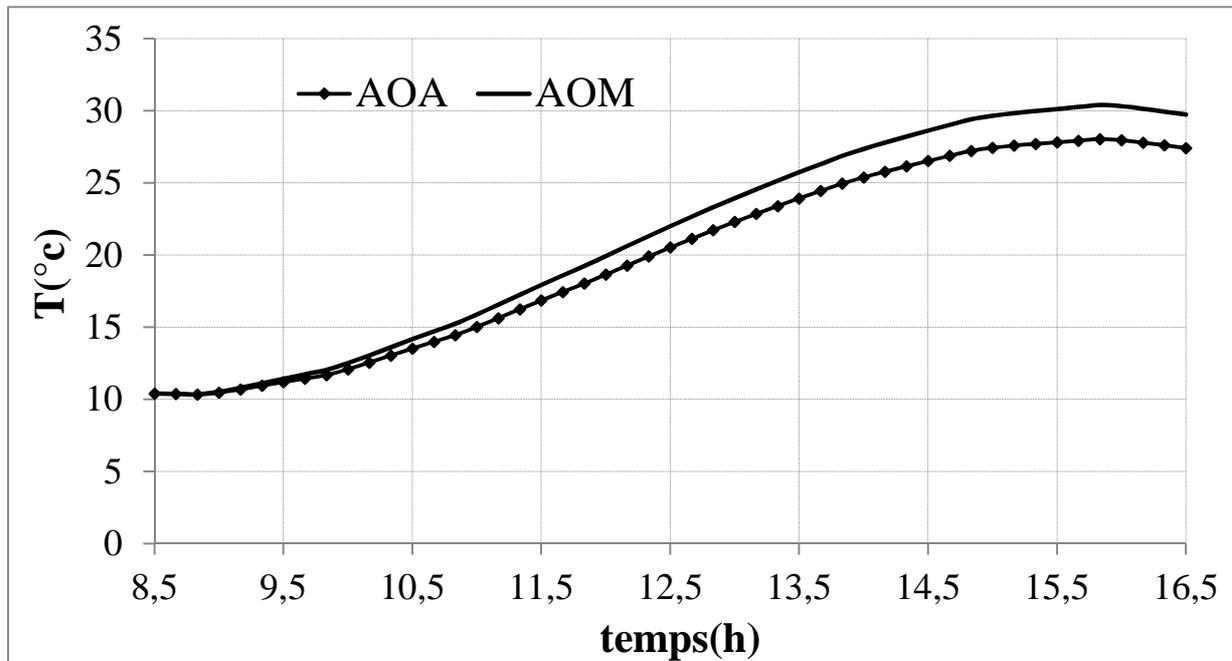


Figure III.25: Evolution de température de l'eau du réservoir au cours du temps

c) Pour un réservoir de stockage de 150L

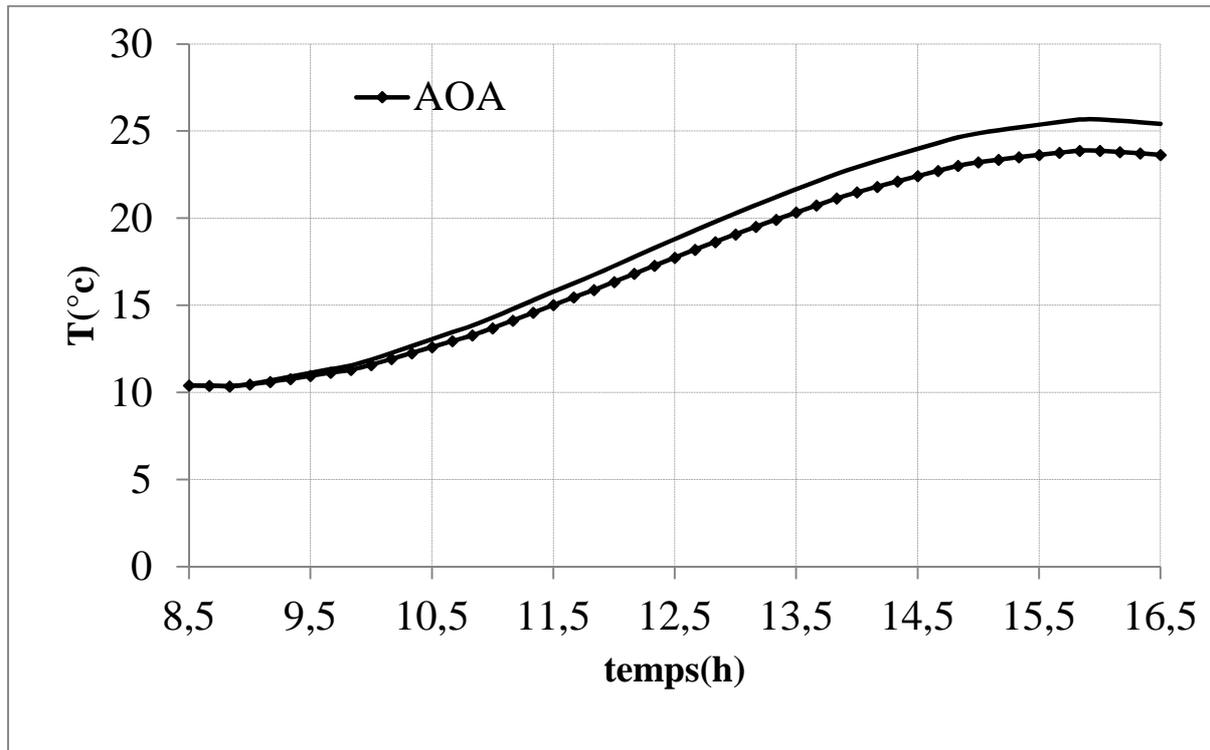


Figure III.26: Evolution de température de l'eau du réservoir au cours du temps

d) Pour un réservoir de stockage de 200L

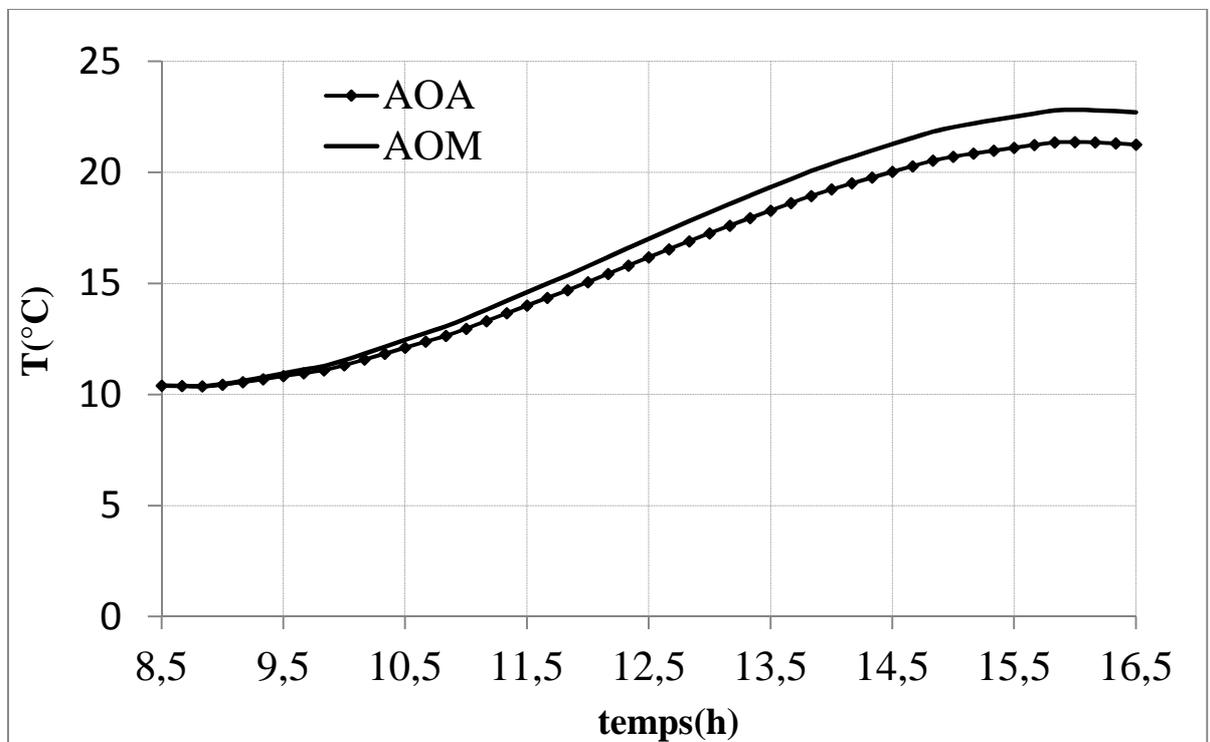


Figure III.27: Evolution de température de l'eau du réservoir au cours du temps

Les figures ci-dessus montrent l'évolution de la température de l'eau du réservoir pour des différents volumes (50, 100, 150, 200 litres) en fonction du temps durant la journée de 21 décembre.

On remarque la température de l'eau de réservoir augmente graduellement jusqu'à atteindre sa valeur maximale entre 15H 30 et 16H30, après elle commence à diminuer.

On constate aussi que l'augmentation de volume d'eau conduit à la diminution de température d'eau.

- Réservoir de 50 L : (36,10°C) pour AOA et (39,45°C) pour AOM
- Réservoir de 100L : (27,95°C) pour AOA et (30,39°C) pour AOM
- Réservoir de 150L : (23,89°C) pour AOA et (26,66°C) pour AOM
- Réservoir de 200L : (21,37°C) pour AOA et (22,82°C) pour AOM

Conclusion:

D'après les résultats obtenus dans ce chapitre on constate l'influence des paramètres externes : Rayonnement, vitesse de vent et température ambiante sur le rendement instantané du capteur.

Il apparaît clairement que le rendement instantané du capteur est une fonction proportionnelle du rayonnement solaire globale qui joue un rôle important.

L'augmentation de la température de l'ambiance favorise le réchauffement de l'eau stockée.

Pour un meilleur rendement il faut adapter l'angle d'inclinaison du panneau et la capacité du réservoir de stockage pour chaque saison.

Pour une surface du capteur de 1 m² le volume d'eau idéal pour satisfaire les besoins en eau chaude est:

- Pendant l'hiver 50L
- Pendant le printemps 50L
- Pendant l'été 200L
- Pendant l'automne 200L

Conclusion générale

Conclusion générale

Dans le cadre de ce travail, on a présenté une étude paramétrique d'un chauffe- eau solaire plan exposé aux conditions climatiques prévalant à Tizi-Ouzou. Cette étude permet de fournir l'évolution de la température de l'eau du réservoir de stockage au cours des journées d'équinoxes et de solstices.

Notre travail comporte deux parties principales : une partie théorique et une partie simulation.

Concernant la partie théorique, un rappel théorique sur le chauffe-eau solaire permet de comprendre son fonctionnement.

La deuxième partie porte sur des simulations numériques des paramètres influents sur le bon fonctionnement du chauffe-eau solaire.

Les résultats obtenus :

-l'influence des paramètres internes et externes sur le rendement du capteur plan.
-Il apparait clairement que le réchauffement de l'eau est d'autant meilleur que l'irradiation solaire globale est importante.

- L'angle d'inclinaison optimal du capteur par rapport à l'horizontale varie d'une saison à l'autre pour capter le maximum d'énergie solaire.

- Avec une surface de 1m^2 du capteur solaire, il est possible de chauffer suffisamment l'eau contenue dans le réservoir de stockage. Cependant, les volumes du réservoir varient selon la saison considérée. En effet, pour:

- les périodes d'hiver et de printemps, elle est de 50L
- les périodes d'été et d'automne elle peut atteindre ,200L

Référence
Bibliographique

Références Bibliographiques

- [1] **J.M Chassériau**, Conversion thermique du rayonnement solaire ; Dunod, 1984.
- [2] **BOUCHOUICHA Kada**, (thèse), MODELISATION MULTISPECTRALE DES IMAGES SATELLITAIRE -Application : Quantification du bilan d'énergie Sol-Atmosphère.UNV-ORAN, 2017.
- [3] **M. Capderou**, Atlas solaire de l'Algérie, Tome 1, Vol. 1 et 2 ; OPU, 1987
- [4]<http://web.laghuniv.dz/web/fr/doc/publications/ouvrage/techno/Mesri.pdf>
- [5] **Pierre Henri Communay** , Héliothermiques :Le gisement solaire Méthodes et calculs.Grope de Recherche et d'Edition-2002.
- [6] **Jacques BERNARD**, « énergie solaire, calculs et optimisations », édition Ellipses 2004
- [7]**SALMI ANISSA,OUMELLAL HOCINE**, Mémoire d'ingénieur ,Calcul et dimensionnement d'une installation de chauffage et production d'eau chaude sanitaire par énergie solaire d'une maison individuelle type pavillon .UMMTO 2007
- [8] **KECIL Idir, NEBBALI Rezki**,. Inclinaison Optimale D'un Panneau Solaire .1^{er} séminaire sur les énergies renouvelables et l'environnement CUTAM, Tamnrest ,2018.
- [9] :**André Joffre**. " Energie solaire thermique dans le bâtiment chauffe-eau solaires ".revue techniques de l'ingénieur BE 9164.
- [10]:**R.foster, M.ghassemi,A.cota**, solar energy, renewable energy and the environment, (2009).
- [11]] **Thierry CABIROL - Albert PELISSOU - Daniel ROUX** « l'isolateur plan a effet de serre et le chauffe-eau solaire» EDISUD, AIX-EN-PROVENCE 1978.
- [12] **Soteris A, kalogirou**, solar thermal collectors and applications, progress in energy and combustion science, Volume 30, Issue 3, 2004, Pages 231-295
- [13] **G.iordanou**, flat-plate solar collectors for water heating with improved heat transfer for application in climatic, thesis, university of durham, (2009).
- [14] **F.struckmann**, analysis of a flat-plate solar collector, (2008).
- [15] **Y. Maigne, J-P. Causse, M. Claverie, B. Equer**. “les perspectives de l'énergie solaire en FRANCE”. Commission « Energie et changement climatique » Groupe de travail « Energie solaire » Juillet 2008
- [16] **Brian Norton**, solar energy thermal technology, (1991).
- [17] **Serge Blaise EkomyAngo** , Thèse de Doctorat, Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers. Paris, France. Spécialité Energétique. Le 24 novembre 2011.

- [18] **K. Salima**. Thèse de magister , "Etude théorique et numérique des systèmes couples : distillateur plan capteur Et distillateur hot box-capteur".03-15. (2009)
- [19] **S. Souad**. "Effet des paramètres opérationnels sur les performances d'un capteur solaire plan". Thèse de magister (2010) 05-19.(6)
- [20] **D, K,Edwards**. "capteur solaire " ,Edition SCM ,paris.(1979).
- [21] **X.TOUZAD**, Le solaire thermique, Association Gaia, Avenue Jean Jaurès, France.
- [22] **B.ANDERSON, M.RIORDEN**, The new solar home book, Brick House, Amherst, 1987.
- [23] : < l'énergie solaire-thermique et photovoltaïque> MICHEL TISSOT 2ieme edition
- [24] Dimensionnement, Formation chauffe-eau solaire **ADEME**, 2000 chap1 revisite.pdf.
- [25] <http://www.ademe.fr>, Mars 2011.
- [26] **F.Kreith**.Transmission de la chaleur et thermodynamique. Ed. MASSAN et Cie- 1967
- [27] **Yves JANNOT**, transferts thermique, Ecole des Mines Nancy.2012
- [28]**SAAD Arezki, DAMOUS Hakim**, mémoire master, Etude et conception d'un chauffe-eau solaire, UMMTO, 2017.2018.