



République Algérienne Démocratique Et Populaire
Ministère De L'Enseignement Supérieur Et De La Recherche Scientifique
Université Abou Bekr Belkaid - Tlemcen
Faculté de la TECHNOLOGIE
Département du GENIE MECANIQUE

MEMOIRE

Pour l'obtention du

DIPLOME DE MASTER

Spécialité : Génie thermique et énergie renouvelable

*Etude d'un système solaire avec
réservoir bivalent pour le chauffage
d'habitat*

Présenté par :

M^{lle} MEKKI Dahbia

M^{lle} TAHRI Fatima Zohra

Encadré par :

M^r ALIANE Khaled

Soutenu publiquement le **02 Juillet 2012** :

Devant le jury composé de:

M^r KORTI ABDELILLAH Nabil	Président	Faculté de Technologie
M^r ALIANE Khaled	Encadreur	Faculté de Technologie
M^r SELADJI Chakib	Examineur	Faculté de Technologie
M^r ALIANE ABDENNOUR	Examineur	Faculté de Technologie



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

"والشمس و ضحاها(1) والقمر إذا تلاها(2)"

الآيات(1)و(2) من سورة الشمس

Remerciements

*Avant tout, nous remercions **ALLAH** de nous avoir donné le courage, la patience, la santé, la volonté durant toutes ces années et que grâce à lui et à la confiance donnée, nos rêves ne resteront jamais des rêves.*

*Nous adressons nos plus sincères remerciements à notre encadreur Monsieur **ALIANE Khaled** Professeur à l'université de Tlemcen faculté de Technologie pour ses conseils précieux, son aide et sa grande patience.*

*Nous tenons à exprimer nos respectueuses gratitudes à Monsieur **KORTI ABDELILLAH Nabil** professeur à l'université de Tlemcen faculté de Technologie, qui nous donne le privilège d'être notre président de jury.*

*Nos remerciements s'adressent également à Monsieur **SELADJI Chakib** professeur à l'université de Tlemcen faculté de Technologie d'avoir bien voulu accepter d'examiner ce travail et de faire partie du jury.*

*Nous remercions Monsieur **ALIANE ABDENNOUR** professeur à l'université de Tlemcen faculté de Technologie d'avoir accepté de nous faire l'honneur de juger ce travail et participer à notre jury de ce mémoire.*

Dédicace

Je dédie ce modeste travail en signe de respect à:

Ma chère, ma tendre Maman

La personne qui a tant souffert pour voir mon sourire, je ne la remercierais jamais assez pour le soutien qu'elle m'a toujours apporté.

.....La mémoire de mon père qu'il repose en paix,

Mes sœurs et mes frères

Fatima Zohra et Wafaa, Zakaria et sa femme Leila et bien sur le petit Mohamed à qui je souhaite toute la réussite et le bien être

A tous les enseignants de département de Génie Mécanique chacun

avec son nom

A Mes amies :

A celles avec qui j'ai passée des meilleurs moments, je rappelle :

Lamia, Narimane, Karima, Zineb, Khawla, Meriem, Ismahen et sans oublier Hassiba, Aicha et Houaria mes copines de chambre.

A Mes amis :

ABDEERRAHIM, Takieddine, Bouhelal et surtout à ABDELAZIZ

.....Sans oublier mes collègues d'étude.

Et à tous ceux qui m'ont aidé dans les Moments difficiles.

Dahbia

Dédicace

À mes chers parents.

Qui mon toujours soutenu dans mes études,

À mes frères

Nasro, Boumediene, Rachid, Ahmed, Kamel

À ma sœur

Fatiha, les petits Marwa, Mohamed Noufel (nouness) et aussi la petite

Bouchera

Aux quelles je dédie cette thèse.

À mes amies :

Souhila, Nadia, Khadidja, Assia, Warda, Fadila, Hanan, Safia, Zineb,

Amina, Aicha, Ismahane, Lamia, Om Ziade

À mes amis :

AMINE, Ibrahim, Nasro, Mohamed BOUAZZA, Fouzi, Bouhlel, Ouassini,

ABDELKADER, ABDELKARIM, ABDELILLAH, Yassine, Hicham

ABDERRAHMAN, Boucif, Kamel, Kadirou, Rabah, surtout à Krimou.

À tous mes enseignants chacun avec son nom.

À tous mes collègues.

Et à la fin à ma sœur, ma meilleure copine Dahbia et sa famille.

Fatima Zohra

Sommaire

Introduction Générale.....	21
Chapitre I : Généralités sur le gisement solaire	
I.1 Introduction.....	25
I.2 Rappel sur le transfert de chaleur.....	25
I.2.1 La conduction.....	25
I.2.2 La convection.....	26
I.2.3 Le rayonnement.....	27
I.3 Aperçu sur la source du rayonnement (Le soleil).....	28
I.4 Géométrie terre-soleil.....	29
I.4.1 Le système terre-soleil.....	29
I.4.2 La constante solaire.....	29
I.5 Sphère céleste.....	31
I.6 Coordonnées célestes.....	32
I.6.1 Coordonnées géographiques.....	32
I.6.2 Coordonnées horaires.....	33
I.6.3 Coordonnées horizontales.....	34
I.7 Temps solaire.....	36
I.7.1 Temps solaire vrai (TSV).....	36
I.7.2 Temps solaire moyen.....	36
I.7.3 Temps civil.....	37
I.7.4 Temps universel.....	37
I.7.5 Temps légal.....	37
I.8 Estimation horaire de l'ensoleillement.....	37
I.8.1 Répartition du rayonnement solaire.....	37
I.8.2 Direction du rayonnement solaire.....	40
I.9 Caractéristiques géographiques de la ville de Tlemcen.....	41
I.10 Conclusion.....	42

Chapitre II : Energies renouvelables et énergie solaire

II.1 Introduction.....	44
II.2 Consommation d'énergie dans le monde.....	44
II.3 Les énergies renouvelables	45
II.3.1 Définition	45
II.3.2 Importance des énergies renouvelables	46
II.3.3 Les différents types d'énergie renouvelable	47
II.3.3.1 Energie éolienne	47
II.3.3.2 Energie solaire	48
II.3.3.3 Energie de l'eau (hydrolique)	49
II.3.3.4 Energie géothermique	49
II.3.3.5 Energie de la biomasse	50
II.4 Les énergies renouvelables en Algérie	50
II.5 L'énergie solaire	51
II.6 L'Algérie et l'énergie solaire.....	53
II.7 Conclusion.....	54

Chapitre III : Les capteurs solaires

III.1 Historique	56
III.2 Les effets de l'énergie solaire.....	57
III.3 Conversion photovoltaïque.....	57
III.3.1 La cellule photovoltaïque	58
III.3.1-1 Historique.....	58
III.3.1-2 Description	58
III.3.2 Principe de la conversion photovoltaïque	60
III.3.3 Les différentes technologies	61
III.3.3-1 Cellule en silicium monocristallin	61
III.3.3-2 Cellule en silicium polycristallin	61
III.3.3-3 Cellule en silicium amorphe	62
III.3.4 Systèmes photovoltaïque : avantes et limites	63
III.3.4-1 Avantages.....	63

III.3.4-2 Limites	63
III.4 Conversion thermique	64
III.4.1 Les capteurs solaires thermique	64
III.4.1.1 Définition	64
III.4.1.2 Le principe de fonctionnement d'un capteur thermique	64
III.4.1.3 L'effet de serre	65
III.4.2 Les types des capteurs solaires	66
III.4.2.1 Les capteur plans non vitrés dit 'capteur moquette'	66
III.4.2.2 Les capteurs plans avec vitrage	66
III.4.2.3 Les capteurs sous vide	67
III.4.3 Les capteurs solaire plans	68
III.4.3.1 Description du capteur plan	69
III.4.3.1-1 Le vitrage (couvercle)	69
III.4.3.1-2 L'absorbeur	70
III.4.3.1-3 L'isolant	71
III.4.3.1-4 Le fluide caloporteur	73
III.4.3.1-5 Le boîtier	73
III.5 Les paramètres influant sur le fonctionnement d'un capteur solaire	73
III.5.1 Les paramètres internes	73
III.5.1.1 La vitre	73
III.5.1.2 L'absorbeur	74
III.5.1.3 Forme et diamètres des pipes	74
III.5.1.4 La circulation du fluide caloporteur	75
III.5.1.5 L'isolation	75
III.5.1.6 L'orientation et l'inclinaison du capteur	76
III.5.2 Paramètres externes	76
III.5.2.1 Obstacles	76
III.5.2.2 Rayonnement solaire	76
III.5.2.3 Température	76
III.5.2.4 Vitesse du vent	77

III.6 Pertes thermiques dans un capteur solaire plan.....	77
III.6.1 Pertes par convection.....	77
III.6.2 Pertes par conduction	78
III.6.3 Pertes par rayonnement	79
III.6.4 Evaluation du coefficient des pertes vers l'avant.....	79
III.6.5 Evaluation du coefficient des pertes vers l'arrière	80
III.6.6 Evaluation du coefficient des pertes latérales	80
III.7 Capteurs solaire par concentration	81
III.7.1 Capteur solaire parabolique.....	82
III.7.2 Capteur solaire cylindro-parabolique	83
III.7.3 Centrale à tour	84
III.8 Conclusion.....	85

Chapitre IV : Chauffage solaire de l'habitat

IV.1 Introduction.....	87
IV.2 La production directe de chaleur pour l'habitat	87
IV.2.1 Le chauffe-eau solaire	87
IV.2.2 Le chauffage solaire des maisons.....	88
IV.2.3 Le mur Trombe-Michel.....	89
IV.3 Rudiment d'un système de chauffage solaire	91
IV.4 Systèmes de chauffage solaire passifs	91
IV.5 Systèmes de chauffage solaire actifs.....	92
IV.5.1 Système de chauffage solaire actif à eau/à air	93
IV.6 Système de capteurs solaires.....	95
IV.6.1 Installation des capteurs solaires.....	95
IV.6.2 Protection contre le gel.....	95
IV.7 Système de stockage	96
IV.7.1 Le stockage sous forme de chaleur de latente.....	96
IV.7.2 Le stockage sous forme de chaleur sensible	97
IV.7.3 Stockage journalier et stockage saisonnier	98
IV.8 Système de distribution	99
IV. 9 Quelques caractéristiques climatiques du site de Tlemcen.....	99

IV. 9. 1 L'humidité relative.....	99
IV. 9. 2 Vitesse de l'air.....	100
IV. 9. 3 Adaptation de la ressource aux besoins.	100
IV. 9. 4 La bâtisse à chauffer.....	101
IV. 10 Description de l'Installation étudiée	102
IV. 10. 1 Principe de fonctionnement	103
IV. 10. 1. 1 Système solaire	103
IV. 10. 1. 1. 1 Différents organes de sous système solaire.....	103
IV.10. 1. 2 Système de distribution	105
IV. 10. 2 Bilans énergétiques des sous système	105
IV. 10. 2. 1 Sous système de captage solaire	105
IV. 10. 2. 1 Sous Système de stockage	105

Chapitre V : Simulation, interprétations des résultats et discussions

V. 1 Introduction	107
V. 2 Développement du modèle TRNSYS	107
V. 3 Simulation.....	107
V. 3. 1 Hypothèses et simplifications.....	108
V. 4 Caractéristique des composants utilisés par TRNSYS16.....	109
V. 4. 1 L'installation de chauffage sur le TRNSYS.....	109
V. 4. 2 Le capteur solaire plan.....	109
V. 4. 3 Le ballon de stockage	109
V. 4. 4 L'échangeur de chaleur	110
V. 4. 5 Structure multi-zone	111
V.5 Les étapes de simulation de TRNSYS	112
V. 6 Calcul des déperditions totales de cet habitacle	114
V. 6. 1 La déperdition volumique de la salle	115
V. 6. 2 Les besoins de chauffage.....	118
V. 7 Les résultats de simulation et interprétation.....	120
V. 7. 1 Les résultats de la production d'eau chaude pour l'habitat.....	120
V. 7. 2 Les résultats du chauffage de l'habitat	132

V. 8 Conclusion	145
Conclusion générale	148
Références bibliographiques	150
Résumé	153

Liste des figures

Chapitre I : Notion sur le gisement solaire

Figure I. 1 : un mur d'aire A et d'épaisseur mince E	27
Figure I. 2 : Echange de chaleur par convection	28
Figure I. 3 : Echange de chaleur par rayonnement.....	29
Figure I. 4: Plan de l'écliptique et l'orbite terrestre et les saisons	30
Figure I. 5: Répartition spectrale du rayonnement solaire	32
Figure I. 6: La sphère céleste.....	32
Figure I. 7: Les coordonnées géographiques.....	34
Figure I. 8: Les coordonnées horaires	35
Figure I. 9: Les coordonnées horizontales	36
Figure I. 10: Schéma du rayonnement direct, diffus et global	38
Figure I. 11: Direction du rayonnement solaire	41
Figure I. 12: Situation de la ville de Tlemcen (carte d'Algérie).....	42

Chapitre II : Energies renouvelables et énergie solaire

Figure II. 1 : Part de chaque source d'énergie dans la demande mondiale d'énergie...44	44
Figure II. 2 : Les énergies renouvelables	45
Figure II. 3 : Une éolienne.....	48
Figure II. 4: Energie géothermique	49
Figure II. 5: Irradiation globale journalière reçue sur un plan horizontale au mois de juillet en Algérie	53

Chapitre III: Les capteurs solaires

Figure III. 1 : Champ d'utilisation de photovoltaïque.....	57
Figure III. 2 : a) silicium matière première, b) cellule photovoltaïque, c) panneaux photovoltaïques	59
Figure III. 3 : Production d'électricité dans une cellule photovoltaïque.....	59
Figure III. 4 : Les différentes technologies des cellules photovoltaïques	62
Figure III. 5: Principe de fonctionnement d'un capteur solaire thermique.....	65
Figure III. 6: Capteurs solaires sans vitrage (capteur moquette)	66
Figure III. 7: Composants types d'un capteur plan avec vitrage	67

Figure III. 8: Capteurs solaire sous vide	68
Figure III. 9: Représentation schématique d'un capteur à concentration	81
Figure III. 10: Capteur solaire parabolique	82
Figure III. 11: Principe de fonctionnement d'un capteur à miroirs paraboliques	83
Figure III. 12: Système à réflecteur Capteurs cylindro-paraboliques	83
Figure III. 13: Système de centrale à tour	84

Chapitre IV: le chauffage de l'habitat

Figure IV.1 : Schéma d'un chauffe-eau solaire.....	88
Figure IV. 2 : Schéma d'une installation destinée pour le chauffage des maisons.....	89
Figure IV. 3 : Le mur Trombe-Michel	90
Figure IV. 4: Système d'énergie solaire à eau en boucle fermée	93
Figure IV. 5: Système de chauffage solaire à air avec stockage à lit de pierre	94
Figure IV. 6: Variation mensuelle de l'humidité relative (%) du site de Tlemcen	100
Figure IV. 7: Déphasage entre ressources et besoin pour le site de Tlemcen.....	101
Figure IV. 9: Vue en plan de la salle	102
Figure IV. 9: Structure du système de chauffage global et les sous système	102
Figure IV. 10: Capteur solaire plan à eau vitré	103
Figure IV. 11: Réservoir de stockage d'eau chaude	104

Chapitre V: Simulation et interpritations des résultats

Figure V. 1 :L'installation étudiée sur le TRNSYS16	109
Figure V. 2 : Capteur solaire thermique vitré type73.....	109
Figure V. 3 : Ballon de stockage d'eau chaude type60n.....	110
Figure V. 4 : Echangeur de chaleur type5b.....	110
Figure V. 5 : Structure multi-zone type56a.....	111
Figure V. 6 : Constituant de mur	114
Figure V. 7 : Secteur de déperdition totale de chaque mois de la saison de chauffe..	117
Figure V. 8 :Histogramme des besoins en chauffage pour chaque mois de la saison de chauffage.....	119
Figure V. 9 : Variation de température d'eau chaude sanitaire pour le mois d'octobre.....	120
Figure V. 10 : Variation de température d'eau chaude sanitaire pour le 15 Octobre .	121

Figure V. 11 : Variation de température d'eau chaude sanitaire pour le mois de Novembre	122
Figure V. 12 : Variation de température d'eau chaude sanitaire pour le 14 Novembre	123
Figure V. 13 : Variation de température d'eau chaude sanitaire pour le mois de Décembre.....	123
Figure V. 14 : Variation de température d'eau chaude sanitaire pour le 10 Décembre	124
Figure V. 15 : Variation de température d'eau chaude sanitaire pour le mois de Janvier.....	125
Figure V. 16 : Variation de température d'eau chaude sanitaire pour le 17 Janvier...	125
Figure V. 17 : Variation de température d'eau chaude sanitaire pour le mois de Février.....	126
Figure V. 18 : Variation de température d'eau chaude sanitaire pour le 16 Février...	127
Figure V. 19 : Variation de température d'eau chaude sanitaire pour le mois de Mars.....	128
Figure V. 20 : Variation de température d'eau chaude sanitaire pour le 16 Mars	129
Figure V. 21 : Variation de température d'eau chaude sanitaire pour le mois d'Avril	130
Figure V. 22 : Variation de température d'eau chaude sanitaire pour le 15 Avril	131
Figure V. 23 : Variation de température du chauffage pour le mois d'Octobre	132
Figure V. 24 : Variation de température d'eau chaude sanitaire pour le 15 Octobre	133
Figure V. 25 : Variation de température du chauffage pour le mois de Novembre	134
Figure V. 26 : Variation de température d'eau chaude sanitaire pour le 14 Novembre	135
Figure V. 27 : Variation de température du chauffage pour le mois de Décembre	136
Figure V. 28 : Variation de température d'eau chaude sanitaire pour le 10 Décembre	137
Figure V. 29 : Variation de température du chauffage pour le mois de Janvier	138
Figure V. 30 : Variation de température d'eau chaude sanitaire pour le 17 Janvier ..	139
Figure V. 31 : Variation de température du chauffage pour le mois de Février	140
Figure V. 32 : Variation de température d'eau chaude sanitaire pour le 16 Février ..	141
Figure V. 33 : Variation de température du chauffage pour le mois de Mars.....	142
Figure V. 34 : Variation de température d'eau chaude sanitaire pour le 16 Mars	143
Figure V. 35 : Variation de température du chauffage pour le mois d'Avril.....	144

Figure V. 36 : Variation de température d'eau chaude sanitaire pour le 15 Avril145

Figure V. 37 : Variation de température du chauffage pour la période de chauffe.....146

Liste des tableaux

Chapitre I : Notion sur le gisement solaire

Tableau (I-1) : Valeur du flux solaire à la limite de l'atmosphère terrestre, Ecart relatif par rapport à la constante solaire $I_0 = 1367 \text{W/m}^2$	31
Tableau (I-2) : Coefficients de trouble du ciel	39
Tableau (I-3) : Albèdo typique de différents types de surfaces	40

Chapitre III : Les capteurs solaires

Tableau (III-1): Transmissivité de divers types de couvertures dans les gammes visible et de l'infrarouge	69
Tableau (III-2): Propriétés de quelques couches sélectives	71
Tableau (III-3): Quelques données relatives aux matériaux d'isolation arrière	72

Chapitre V : Simulation et interpritations des résultats

Tableau (V-1): Les températures d'extérieures pour la période de chauffe pour le site de Tlemcen	112
Tableau (V-2): Les caractéridtiques des parois et les toitures	115
Tableau (V-3): Les déperditions de chaque face et la déperdition totale.....	117
Tableau (V-4): Besoins de chauffage pour chaque mois de la période de chauffe.....	118

Nomenclature

a	L'azimut du soleil	[degré]
A_C	surface du capteur	$[m^2]$
A_r	Surface du réservoir	$[m^2]$
alb	Albédo du sol	---
B	Besoin en chauffage	[kW]
C_p	Chaleur massique du fluide caloporteur	[j/kg.K]
C_{pc}	Chaleur spécifique du fluide coté chaud	[j/kg.C]
C_{pf}	Chaleur spécifique du fluide coté froid	[j/kg.C]
COP	Coefficient de Performance	---
D_{tot}	La déperdition totale	[W]
dh	épaisseur de la lame d'air	[m]
Et	l'équation du temps	[min]
E	Epaisseur d'une paroi	[m]
e_b	Epaisseur latérale du capteur	[m]
e_i	Epaisseur de l'isolant arrière	[m]
G	La déperdition volumique	$[W/m^3K]$
G_g	le rayonnement solaire global.	$[W/m^2]$
G_{dir}	le rayonnement solaire direct.	$[W/m^2]$
G_{dif}	le rayonnement solaire diffus.	$[W/m^2]$
K	coefficient global de transfert de chaleur de l'échangeur	$[W/m^2°C]$
K_i	Conductivité thermique de l'isolant	$[W/m^2°C]$
h	coefficient de transfert de chaleur par convection	$[W/m^2 K]$

h_r (ab, v)	Coefficient de perte par rayonnement entre l'absorbeur et le vitrage	[W/m ² K]
h_r (v, c)	Coefficient de perte par rayonnement entre le vitrage et le ciel	[W/m ² K]
I_{0n}	La variation de I_0 en fonction de l'année	[W/m ²]
I_0	la constante solaire	[W/m ²]
I_c	Intensité des radiations solaires dans le plan du capteur	[W/m ²]
L	La longitude	[degré]
L_c	Longueur du capteur	[m]
l_c	Largeur du capteur	[m]
N	Le numéro du jour dans l'année	---
N_t	Nombre de tubes	---
N_v	Nombre de vitrage	---
Q_{max}	le taux de transfert maximum de chaleur dans l'échangeur	[W]
Q_T	taux global de transfert de chaleur dans l'échangeur de chaleur	[W]
Q_r	Chaleur convective de réservoir	[W]
Q_u	Energie utile	[W]
S_h	Surface habitable	[m ²]
S_{lat}	Surface latérale du capteur	[m ²]
S_i	Surface d'une face	[m ²]
T_{1f}	Température d'entrée de réservoir	[°C]
T_{2f}	Température de sortie du réservoir.	[°C]
TSM	Le Temps solaire moyen	[heures]
TSV	Le Temps solaire vrai	[heures]
T_a	Température de l'ambiance	[°C]
T_{ab}	Température de l'absorbeur	[°C]
T_{ap}	Température d'appoint	[°C]
T_c	Température de ciel	[°C]
T_{ec}	température d'entrée du	[°C]

T_{ef}	côté chaud. température d'entrée du côté froid de l'échangeur	[°C]
T_{sc}	température de sortie cotée chaud de l'échangeur	[°C]
T_{sf}	température de sortie côté froid de l'échangeur	[°C]
T_{is}	Température de l'isolant	[°C]
T_{max}	Température maximale	[°C]
T_{min}	Température minimale	[°C]
T_{pm}	Température moyenne de l'absorbeur	[°C]
T_r	Température de réservoir	[°C]
T_u	Température utilisé	[°C]
T_v	Température de la vitre	[°C]
U	Coefficient global de perte thermique du capteur	[W/m ² °C]
V_v	Vitesse de vent	[m/s]
V_h	Volume habitable	[m ³]

Lettres grecques :

β	Inclinaison du capteur solaire	[degré]
ω	L'angle horaire	[degré]
σ	Constante de Stefan- Boltzmann	---
ν	Viscosité cinématique	[Kg/m.s]
δ	La déclinaison du soleil	[degré]
ε	Efficacité de l'échangeur	---
ε_{ab}	Emissivité de l'absorbeur	---
ε_v	Emissivité du vitrage	---
ϕ	La latitude du lieu	[degré]
ϕ	Flux de chaleur transmis	[W]
ρ	La masse volumique	[Kg/m ³]
c	la chaleur massique	[j/Kg.K]
θ	l'angle incident.	[degré]
λ	Conductivité thermique	[W/m.K]
η_0	Efficacité optique du capteur	---
δ	Déclinaison solaire	[degré]

Nombres adimensionnels :

Nu	Nusselt	---
Ra	Rayleigh	---
Pr	Nombre de Prondtl	---
Re	Reynolds	---

Introduction

générale

Avoir une énergie propre en quantité suffisante et à un bon prix, constitue de nos jours un impératif majeur pour le développement de toute nation. En effet, l'augmentation de la demande en Energie, la détérioration accélérée de l'environnement liée aux résidus des ressources énergétiques utilisées, posent de sérieux problèmes à l'échelle globale. L'impact socioéconomique de ces problèmes ne peut que s'intensifier à court et moyen terme.

Face aux prévisions d'épuisement inéluctable des ressources mondiales en énergie fossile (pétrole, gaz, charbon...), en énergie d'origine thermonucléaire (uranium, plutonium...), face aux multiples crises pétrolières, économiques, aux changements climatiques dus à l'effet de serre, la science s'est tout naturellement intéressée aux ressources dites " renouvelables " et notamment vers la plus ancienne, le soleil, qui déverse chaque jour l'équivalent de 100 000 milliards de TEP (tonnes équivalent pétrole). Cette valeur est à comparer aux 9,58 milliards de TEP que représente la consommation annuelle mondiale en énergie primaire (1998).

L'idée d'utiliser l'énergie solaire n'est pas nouvelle, depuis longtemps de nombreuses régions dans le monde utilisent des chauffes eaux rudimentaires, il s'agit de simples réservoirs peints en noir.

L'exploitation d'énergie solaire est notre intérêt car c'est une source non polluante et gratuite, leur système d'exploitation a deux filières importantes :

- Un consiste en conversion directe d'énergie solaire en une énergie électrique c'est la filière électrique (conversion photovoltaïque).
- L'autre consiste en conversion de l'énergie solaire en une énergie thermique exploitable directement (chauffage des habitats, distillation solaire, chauffage des piscines, séchage solaire...ect), ou convertible en une énergie mécanique ou électrique en second lieu.

Le développement de l'utilisation de l'énergie solaire sera lié non seulement à ses avantages économiques, qui augmenteront au fur et à mesure que les réserves d'énergie fossile diminueront, mais surtout pour des considérations liées à la protection de l'environnement, pas de rejet de certains polluants tels que les fumées contenant du CO₂ et du NO, issues des centrales thermiques, pas de danger

radioactif et de déchets encombrants issus des centrales nucléaires, possibilité de limitation de l'emploi des chlorofluorocarbures (CFC) issus de la production de froid solaire par adsorption.

L'énergie solaire n'a pas besoins d'une technologie de pointe pour son utilisation, propre non polluante, disponible sur l'ensemble du globe terrestre évidemment à différente intensité, durable et inépuisable (si l'on compte le temps en millions d'années).

Cependant il y a un certains nombre de facteurs rendent son exploitation difficile, principalement l'intermittence du rayonnement solaire et sa variation journalière et même suivant l'année, en effet l'énergie solaire reste tributaire des conditions météorologiques de plus il y a un déphasage entre les besoins en énergie (chaleur) et les apports générés par l'énergie solaire et vu cette indisponibilité il faut toujours prévoir un appoint en énergie pour chaque utilisation, les systèmes solaires sont souvent assistés énergétiquement.

Notre travail s'intéresse au coté thermique d'énergie solaire ou cette dernière est transformée en chaleur à basse température, par des capteurs plans usant conjointement l'absorption par une surface sélective et l'effet de serre crée par un vitrage et servant habituellement à la production d'eau chaude pour l'utilisation domestique et le chauffage de l'habitat.

Le but de ce travail est la contribution à l'étude, la simulation d'une installation solaire combiné (destiné pour le chauffage de l'habitat et la production d'eau chaude).

Dans ce contexte nous abordons le sujet en cinq chapitres plus une introduction et une conclusion.

Au premier chapitre :

Ce chapitre présente les bases indispensables à la compréhension du sujet. Nous aborderons ainsi en premier lieu quelques rappels sur le transfert thermique et des notions sur la source d'énergie que présentent le soleil, et son application dans les différents domaines athéistiques de fonctionnement.

Le deuxième chapitre :

Ce chapitre est réservé pour les énergies renouvelables et leurs importances sur l'environnement globalement et particulièrement l'énergie solaire.

Au troisième chapitre :

Ce chapitre est consacré pour la présentation des effets de l'énergie solaire et les descriptions des différents types des capteurs solaires et surtout le capteur thermique plan et les différents éléments qui le constituent ainsi que ses paramètres et ses caractéristiques de fonctionnement et à la fin le chapitre se termine par les bilans thermiques d'un capteur solaire thermique plant d'autres capteurs solaires thermiques.

Pour le quatrième chapitre :

Nous avons présenté au cours de ce chapitre des systèmes de chauffage pour l'habitat suivi par une proposition d'un système de chauffage combiné. Chaque sous système a été détaillé et analysé. Enfin, le chapitre est clôturé par la présentation des bilans énergétiques du capteur et du réservoir.

Et pour le cinquième chapitre :

Dans ce chapitre nous avons exposé les aboutissements de la simulation avec discussion et interprétation des résultats obtenus durant la période d'étude.

Chapitre I

Généralités sur le gisement
solaire

I. 1 Introduction :

Le développement, l'optimisation et la caractérisation des capteurs solaires impliquent une certaine connaissance de cette source d'énergie utilisée et du rayonnement solaire global. Pour cette raison on a commencé par des rappels sur le transfert thermique et on va définir quelques notions sur le gisement solaire comme la géométrie solaire, les données astronomiques, le rayonnement global et le spectre solaire.

I. 2 Rappels sur les transferts de chaleur dans un capteur solaire :

Les phénomènes d'énergies solaires sont multiples on observe le phénomène de transfert par conduction au sein du corps de l'absorbeur, le phénomène de convection naturelle ou forcée à la surface de la couverture ainsi que le mode de rayonnement.

I.2.1 La conduction :

L'équation fondamentale de la chaleur par conduction en régime transitoire quand le corps est immobile avec $\lambda = \text{constante}$ est :

$$a. \left[\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right] = \frac{\partial T}{\partial t} \quad (\text{I.1})$$

Avec $a = \frac{\lambda}{\rho c}$ c'est la diffusivité thermique du corps.

ρ : Masse volumique [Kg/m^3]

c : la chaleur massique [$\text{j.Kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$]

En régime permanent ou stationnaire on a : $\frac{\partial T}{\partial t} = 0$

Application pour un mur simple :

Soit un mur vertical dont l'aire de la surface parallèle au plan (Y.Z) en A, et d'épaisseur E. Les deux parois sont maintenues aux températures différentes T1 et T2.

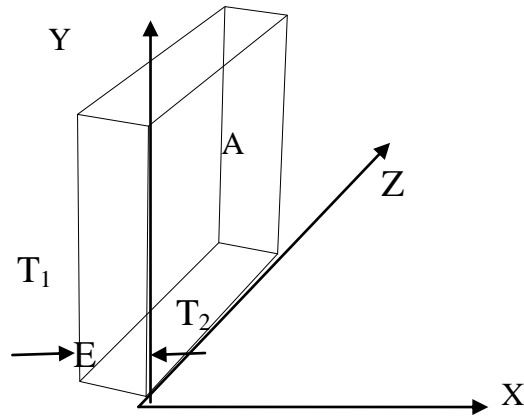


Figure I. 1: un mur d'aire A et d'épaisseur mince E

Si E est faible par rapport aux autres dimensions on obtient un phénomène unidimensionnel donc l'équation (I-1) se réduit :

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = 0 \rightarrow T = Cx + D \quad (\text{I.2})$$

Avec les conditions aux limites $T(x=0) = T_1$ et $T(x=e) = T_2$ on obtient :

$$T = \frac{T_2 - T_1}{e}x + T_1 \quad (\text{I.3})$$

Il vient que la quantité de chaleur qui traverse ce mur est :

$$q = \frac{-\lambda}{e}(T_2 - T_1)A \quad (\text{I.4})$$

Soit la densité de flux :

$$\Phi = \frac{q}{A} = -\lambda \frac{T_2 - T_1}{e} = \frac{\lambda}{e}(T_1 - T_2) \quad (\text{I.5})$$

Application pour un cylindre, on obtient :

$$\Phi = \frac{2\pi\lambda}{\ln \frac{R_2}{R_1}}(T_1 - T_2) \quad (\text{I.6})$$

I.2.2 La convection :

C'est le transfert de chaleur entre un fluide et un solide, l'énergie étant transmise par déplacement du fluide.

Soit une paroi à température moyenne T_p et un fluide en mouvement quelconque au contact de cette paroi.

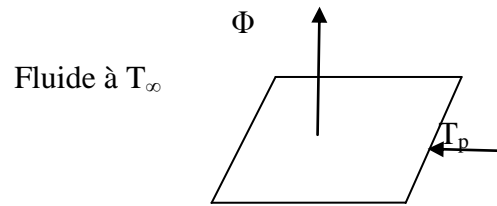


Figure I. 2 : Echange de chaleur par convection

Ce mécanisme de transfert est régi par la loi de Newton et la figure I. 2 représente le phénomène de convection donné par la relation suivante :

$$\Phi = hA (T_p - T_\infty) \quad (\text{I.7})$$

Avec :

Φ : Flux de chaleur transmis par convection (W)

h : Coefficient de transfert de chaleur par convection ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$)

T_p : Température de la surface solide (K)

T_∞ : Température du fluide loin de la surface solide (K)

A : Aire de la surface de contact solide/fluide (m^2)

- La convection est dite **forcée** si le fluide est mis en mouvement par une action extérieure (pompe, ventilation, vent...).
- La convection est dite **naturelle** si le mouvement du fluide ne résulte que des différences de masse volumique induite par des différences de températures.
- La valeur du coefficient de transfert de chaleur par convection, h , est fonction de la nature du fluide, de sa vitesse, de sa température et des caractéristiques géométriques de la surface de contact solide/fluide.

I.2.3 Le rayonnement :

C'est le transfert d'énergie par l'intermédiaire des ondes électromagnétique entre deux surfaces. La figure I. 3 représente ce mode de transfert.

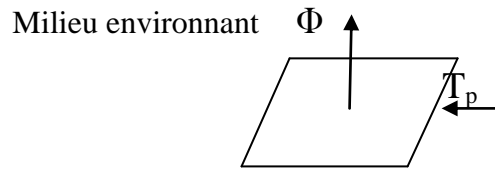


Figure I. 3 : Echange de chaleur par rayonnement

Dans les problèmes de conduction, on prend en compte le rayonnement entre un solide et le milieu environnant et dans ce cas nous avons la relation

$$\Phi = \sigma \varepsilon_p A (T_p^4 - T_\infty^4) \quad (\text{I.8})$$

Φ : Flux de chaleur transmis par rayonnement (W)

σ : La constante de Stefan ($5.67 \cdot 10^{-8} \text{W/m}^2\text{K}$)

ε_p : Facteur d'émission de la surface

T_p : Température de la surface (K)

T_∞ : Température du milieu environnant la surface (K)

A : Aire de la surface (m^2)

I. 3 Aperçu sur le rayonnement solaire :

La source (LE SOLEIL) :

Le soleil au sein de notre galaxie, est une étoile de type naine jaune, mais en réalité est une sphère gazeuse composé des gaz, ces gaz sont en grande majorité d'hydrogène et d'hélium. Son diamètre est de 1 391 000 km (100 fois celui de la terre), sa masse est de l'ordre de $2 \cdot 10^{27}$ tonnes.

Toute l'énergie du soleil provient des réactions thermonucléaires qui s'y produisent. Elles transforment à chaque seconde 564.106 tonnes d'hydrogène en 560.106 tonnes d'hélium, la différence de 4 millions de tonnes est dissipée sous forme d'énergie, ce qui représente une énergie totale de $36 \cdot 10^{22}$ kW. La Terre étant à une distance de 150.106 km du Soleil, elle reçoit une énergie de $1,8 \cdot 10^{17}$ W.

Le rayonnement solaire peut être assimilé au rayonnement d'un corps noir à une température de 5777 K [1]

I. 4 Géométrie Terre-Soleil:

I.4.1 Le système terre-soleil :

La terre décrit autour du soleil une trajectoire légèrement elliptique dont le soleil occupe l'un des foyers. Sa distance moyenne est de 149.6 millions de km, avec une variation de $\pm 1.7\%$.

La terre traverse le grand axe de l'ellipse le 2 janvier (position la plus proche) et le 2 juillet (la plus éloignée du soleil). Depuis la terre, le diamètre apparent du soleil est vu sous un angle de 0.5° .

L'axe de rotation de la terre sur elle-même est incliné de $23^\circ 27'$ par rapport au plan de l'écliptique (plan de l'orbite terrestre). On appelle déclinaison l'angle formé par l'axe terre-soleil avec le plan de l'équateur à un moment donné de l'année. La déclinaison ' δ ' vaut donc :

+ $23^\circ 27'$ au solstice d'été, - $23^\circ 27'$ au solstice d'hiver, et est nulle aux équinoxes. Dans l'approximation d'une trajectoire circulaire. [2]

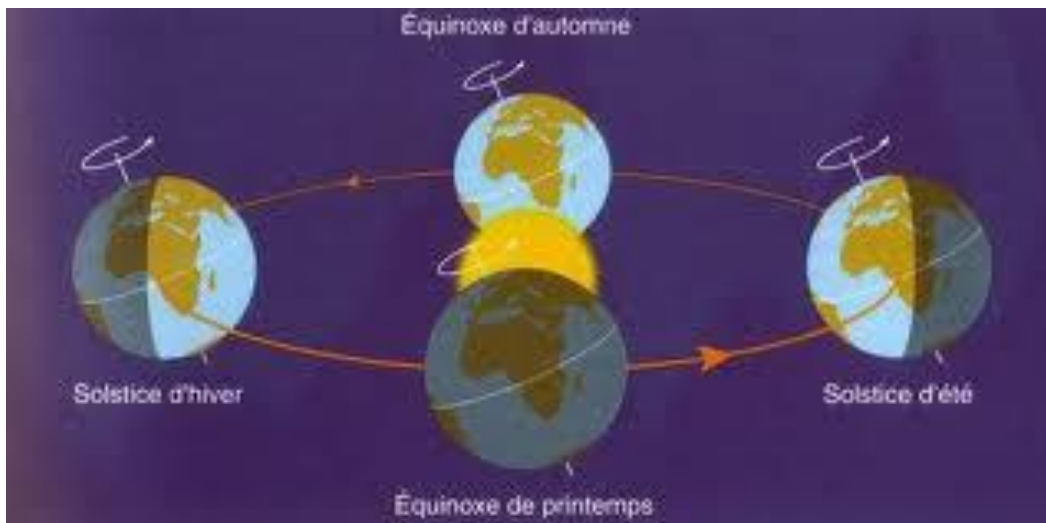


Figure I. 4 : Plan de l'écliptique et l'orbite terrestre et les saisons

I.4.2 La Constante solaire :

L'énergie solaire reçue par unité de temps à la limite supérieure de l'atmosphère sur une surface unité perpendiculaire aux rayons solaires et pour une distance Terre - Soleil égale à sa valeur moyenne, est appelée la constante solaire. La constante solaire a été estimée à 1367 W/m^2 par C. FROHLICH et C. WEHRLI du Centre radiométrique mondial de Davos (Suisse), essentiellement d'après des

résultats de mesures faite entre 1969 et 1980 FROHLICH, 1978 sept séries de mesures effectuées par des radiomètres installés sur des fusées ou des ballons stratosphériques et une série de mesures effectuées par un radiomètre embarqué sur un satellite. Cette valeur de la constante solaire a été adoptée par la Commission des instruments et des méthodes d'observation (CIMO) de l'Organisation météorologique mondiale (OMM) en octobre 1981. [3]

On a : $I_0 = 1367 \text{ W/m}^2$ en 1ère approximation, La relation ci-dessous donne la valeur corrigée de la constante solaire [5,10] :

$$I_{0n} = I_0 \cdot [1 + 0,033 \cdot \cos(\frac{360 \cdot N}{365})] \quad (I.9)$$

Avec: N nombre de jour durant l'année $1 \leq N \leq 365$

Date le 1 ^{er}	Puissance surfacique W/m^2	Écart relative en % / I_0
Janvier	1399	+3.40
Février	1394	+3.03
Mars	1379	+1.92
Avril	1354	+0.07
Mai	1333	-1.48
Juin	1312	-3.03
Juillet	1308	-3.33
Aout	1312	-3.03
Septembre	1329	-1.77
Octobre	1350	-0.22
Novembre	1373	+1.48
Décembre	1392	+2.88

Tableau (I-1) : Valeur du flux solaire à la limite de l'atmosphère terrestre. Ecart relatif Par rapport à la constante solaire $I_0 = 1367 \text{ W/m}^2$.

On trouvera sur la figure : I. 5, la répartition spectrale du rayonnement solaire

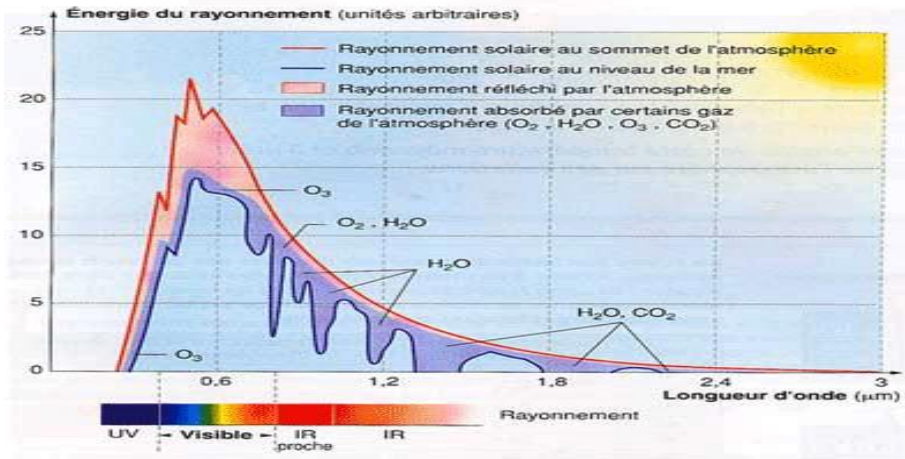


Figure I. 5 : Répartition spectrale du rayonnement solaire

On notera que 98% du rayonnement solaire est émis dans les longueurs d'onde inférieures à 3 µm.

I. 5 Sphère céleste:

La sphère céleste est une sphère imaginaire de rayon indéfini, établie dans les cieux et ayant comme centre l'œil d'un observateur terrestre. La sphère est la base du système de coordonnées employé pour déterminer les positions des astres. Elle est également utilisée pour désigner les intervalles de temps.

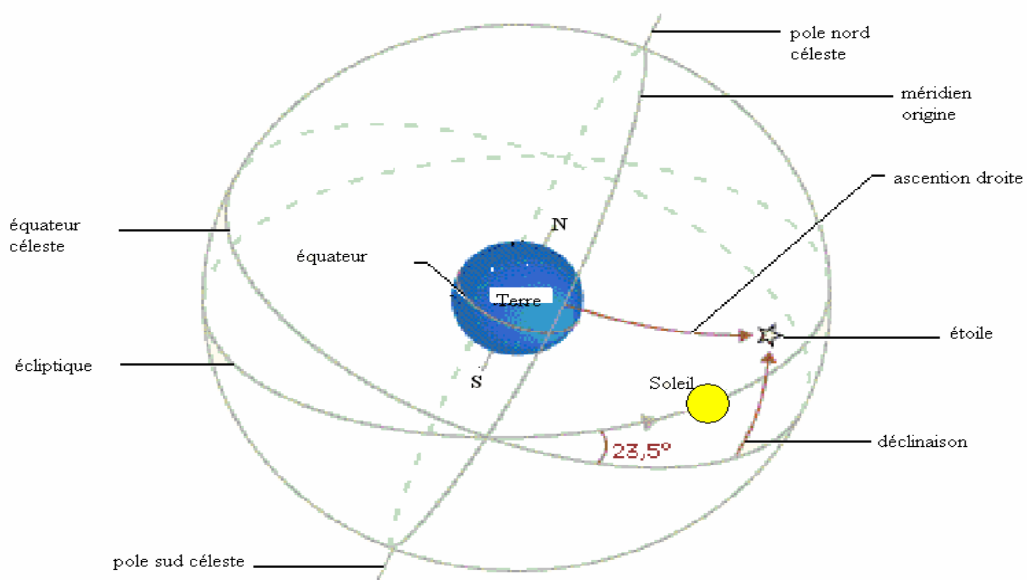


Figure I. 6 : La sphère céleste

I. 6 Coordonnées célestes:

I.6.1 Coordonnées géographiques:

Sont des coordonnées angulaires qui permettent le repérage d'un point sur la terre. (Figure I-7)

a. La longitude (L) :

La longitude d'un lieu correspond à l'angle formé par deux plans méridiens (passant par l'axe des pôles), l'un étant pris comme origine (méridien de Greenwich 0°) et l'autre déterminé par le lieu envisagé.

La longitude d'un lieu peut aussi être comprise entre -180° et +180°, à tout écart de 1° de longitude correspond à un écart de 4 minutes de temps.

On affecte du signe (+) les méridiens situés à l'est de ce méridien, et du signe (-) les méridiens situés à l'ouest. [4]

b. La latitude (\varnothing) :

L'angle de latitude est l'angle entre une ligne tracée d'un point sur la surface de la terre avec le centre de cette dernière, et le cercle équatorial de la terre. L'intersection du cercle équatorial avec la surface de la terre forme l'équateur, est indiquée en tant qu latitude de 0°, le pôle nord par latitude +90° et le pôle sud par la latitude -90°.

Cette convention de signe affecte le signe (+) à tous les lieux de l'hémisphère nord et le signe (-) tous les lieux de l'hémisphère sud. La latitude sera désignée ici par lettre (\varnothing), et peut ainsi être composé entre -90° et +90°. Permet de repérer la distance angulaire d'un point quelconque à l'équateur. [4]

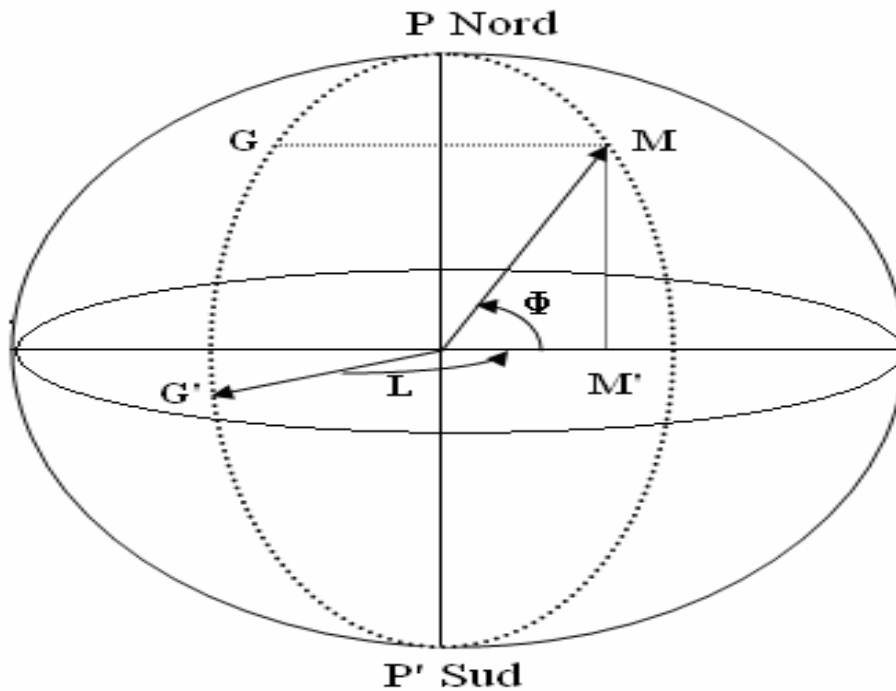


Figure I. 7 : Les coordonnées géographiques

c. L'altitude :

L'altitude d'un point correspond à la distance verticale en mètre entre ce point et une surface de référence théorique (niveau moyen de la mer).

I.6.2 Coordonnées horaires :

- a. **L'angle horaire (ω):**est déterminé par la rotation régulière de la terre autour de son axe .Elle est comptée positivement dans le sens rétrograde de 0 à +360°, une heure sidérale vaut donc 15° d'angle et $\omega = 0^\circ$ (12^h.00) au méridien de Greenwich.
- b. **La déclinaison (δ) :**c'est l'angle fait par le plan de l'équateur avec celui de l'écliptique. Elle est varié au cours de l'année de +23°27' à -23°27'et détermine l'inégalité des durées des jours. δ est donnée par la relation suivante [5, 6, 7,8] :

$$\delta = 23,45. \sin \left[\frac{360}{365} . (N + 284) \right] \quad (I.10)$$

Avec :

N : Le numéro du jour dans l'année compté à partir du 1^{er} janvier (1 à 366).

Elle est comptée positivement de 0 à +90° de (E) vers P (pôle boréal), et négativement de 0 à -90° de (E) vers P' (pôle austral).

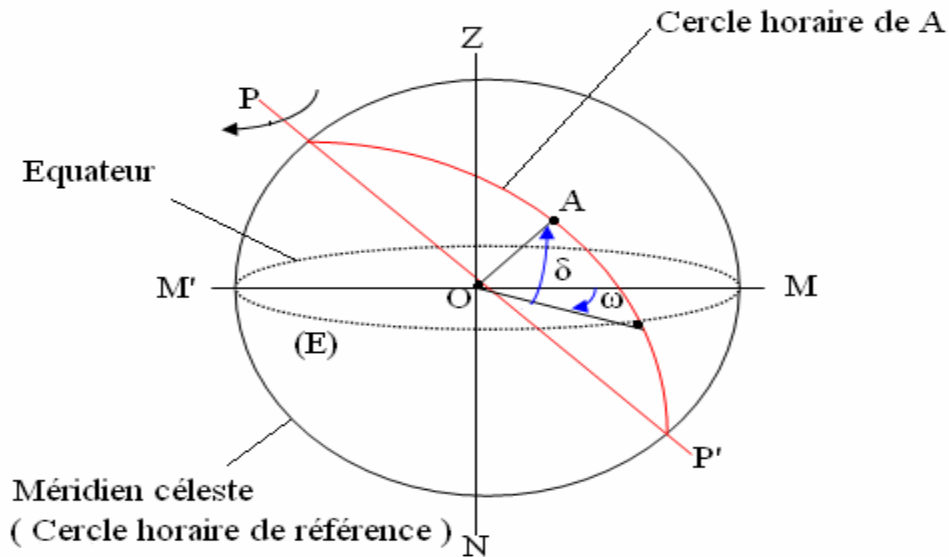


Figure I. 8 : les coordonnées horaires

I.6.3 Coordonnées horizontales :

- a. **La hauteur (h):** est l'angle entre la direction du soleil et sa projection .Elle est comptée positivement de 0 à +90° vers le zénith et négativement de 0 à -90° vers le nadir. Exprimée par la relation suivante :

$$\sinh = \sin\phi . \sin\delta + \cos\phi . \cos\delta . \cos\omega \quad (\text{I.11})$$

- b. **L'azimut (a) :** est l'angle entre la direction de soleil et la direction de sud. On peut le compter positivement de 0 à +180° vers l'ouest et négativement de 0 à -180° vers l'est. Donnée par la relation suivante :

$$\sin a = \frac{\cos\delta . \sin\omega}{\cosh} \quad (\text{I.12})$$

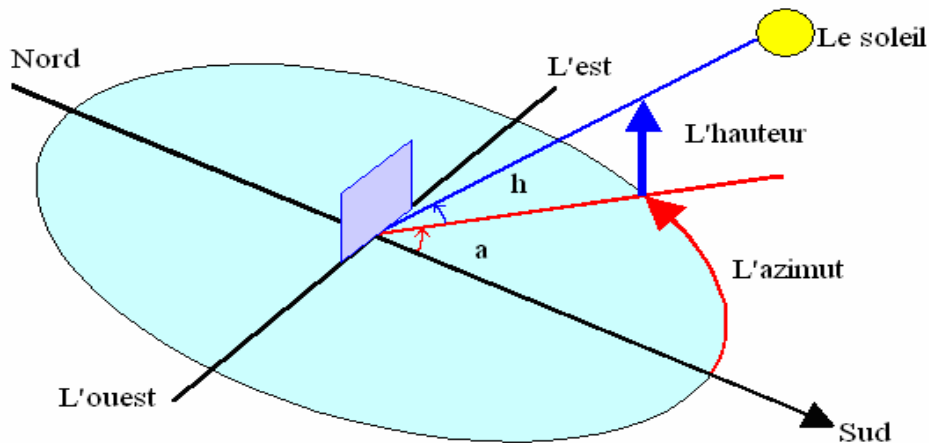


Figure I. 9 : les coordonnées horizontales

I. 7 Temps solaires :

I.7.1. Temps solaire vrais (TSV) :

Le temps solaire vrais, en un instant et un lieu donné, est l'angle horaire du soleil, ce temps est indiqué par les cadrans solaires et les héliographes, Il est donné par la relation suivante [4,5] :

$$TSV = 12 + \frac{\omega}{15} \quad (I.13)$$

I.7.2. Le Temps solaire moyen (TSM) :

Le temps solaire moyen est appelé parfois temps local, Il est donné par la relation suivante [7] :

$$TSM = TSV - Et \quad (I.14)$$

Ou :

$$Et = 9,87 \sin \left[2 \cdot \frac{360}{365} (N - 81) \right] - 7,53 \cos \left[\frac{360}{365} (N - 81) \right] - 1,5 \sin \left[\frac{360}{365} (N - 81) \right] \quad (I.15)$$

Et : est l'équation du temps exprimée en minutes.

N : est le numéro du jour dans l'année.

I.7.3.Le temps civil :

Le temps civil est le temps moyen avec l'origine à minuit.

I.7.4.Temps universel (TU) :

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

[4,5] :

$$TU = TSM - \frac{L}{15} \quad (I.16)$$

Où : L : est la longitude tel que :

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

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

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

II.7.5.Temps légal(TL) :

Le temps légal est une heure liée au TU par une différence fixe exprimée en un nombre entier d'heures qui dépend de la longitude et des coutumes de chaque pays. Est donné par la relation suivante [4,5] :

$$TL = TU + \Delta H \quad (I.17)$$

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

I. 8 Estimations horaires de l'ensoleillement:

I.8.1 Répartition du rayonnement solaire :

Le rayonnement solaire est affaibli par la réflexion, les diffusions multiples et l'absorption par les particules de poussière et les molécules de gaz. Le rayonnement solaire est ainsi divisé en deux composantes [6,7] :

$$G_g = G_{dir} + G_{dif} \quad (I.18)$$

Où :

G_g : est le rayonnement solaire global.

G_{dir} : est le rayonnement solaire direct.

G_{dif} : est le rayonnement solaire diffus.

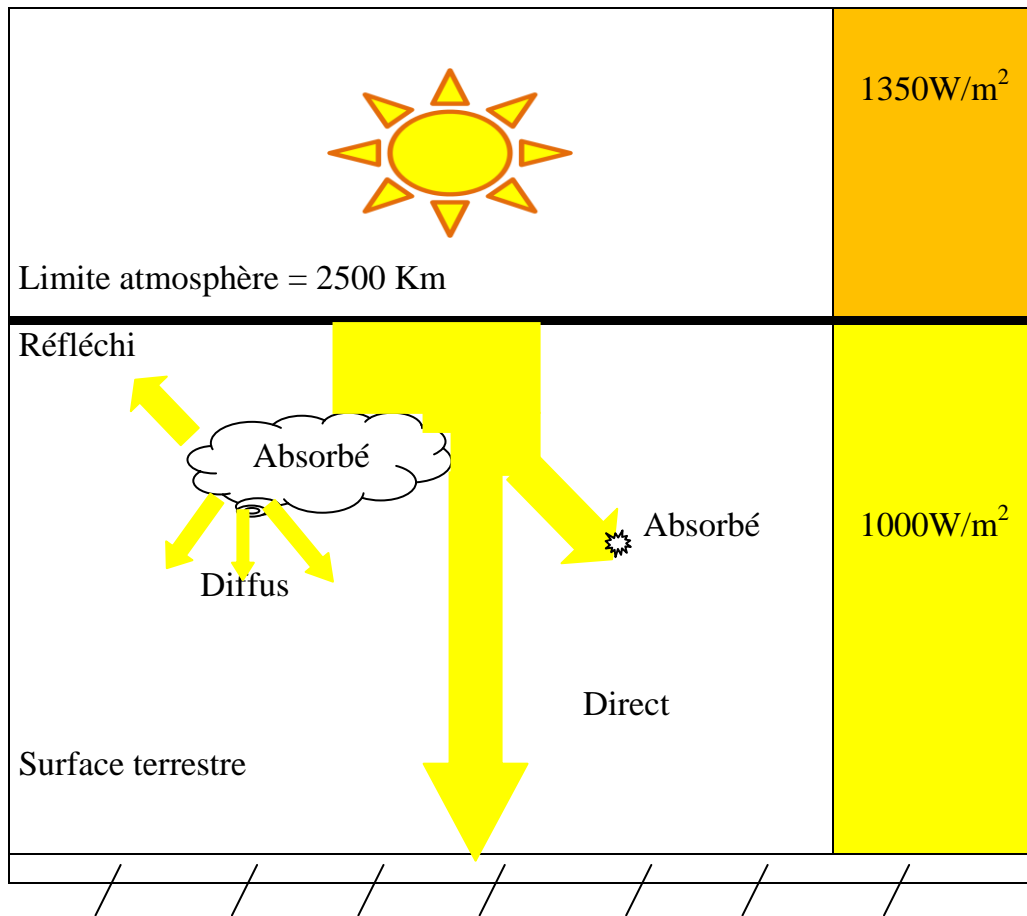


Figure I. 10 Schéma du rayonnement direct, diffus et global

a. le rayonnement direct : c'est-à-dire la part du rayonnement qui traverse l'atmosphère sans rencontrer d'obstacles.

La relation suivante donne l'expression du rayonnement solaire direct [5] :

$$G_{\text{dir}} = I_c \cdot a \cdot \cos\theta \cdot \exp[-b/h] \quad (\text{I.19})$$

Tel que :

θ : l'angle incident.

h : la hauteur du soleil.

a et b sont des coefficients de trouble du ciel dont les valeurs sont données dans le tableau suivant :

	Condition normales	Ciel dégagé et très pur	Zone industrielle
<i>a</i>	0,88	0,87	0,91
<i>b</i>	0,26	0,17	0,43

Tableau (I-2) : coefficients de trouble du ciel [5]

b. le rayonnement diffus: c'est-à-dire la part du rayonnement solaire qui est réfléchi ou absorbée par les particules de poussière et les molécules de gaz et atteint la surface de la terre dans tous les sens.

La relation suivante donne l'expression du rayonnement solaire diffus [5,7] :

$$G_{\text{dif}} = \alpha_0 \cdot \frac{1 + \cos\beta}{2} + alb \cdot (I_0 \cdot \sinh + \alpha_0) \cdot \frac{1 - \cos\beta}{2} \quad (\text{I.20})$$

Avec:

$$\alpha_0 = I_0 \cdot \sinh [0,271 - 0,2939 \cdot \exp(-b/\sinh)] \quad (\text{I.21})$$

β : l'inclinaison du capteur solaire
alb: est l'albédo du sol

➤ **L'albédo :**

L'albédo du sol est le rayonnement qui est réfléchi par le sol ou par des objets se trouvant à sa surface. Cet albédo peut être important lorsque le sol est particulièrement réfléchissant (eau, neige).

Albédo
$$alb = \frac{\text{énergie réfléchie}}{\text{énergie reçue}} \quad (\text{I.22})$$

Ainsi pour un corps noir parfait, l'albédo est nul.

Nature du sol	Albédo
Neige fraîche	0,50 à 0,70
Sol rocheux	0,15 à 0,25
Sol cultivé	0,07 à 0,14
Foret	0,06 à 0,20
Etendue d'eau	0,05
Neige ancienne	0,8 à 0,9

Tableau (I-3) : Albédo typique de différents types de surfaces [3,10].

I.8.2 Direction du rayonnement solaire :

Soit un plan quelconque sur la terre à un instant quelconque. Repérons sa position par les deux angles β , α , Figure (I-11), tel que :

θ : angle de l'incidence.

β : angle entre le plan horizontal et le plan considéré (inclinaison du capteur).

γ : angle entre le méridien local et la normale (azimut du capteur)

\vec{N} : Vecteur unitaire porté par la direction des rayons solaires.

\vec{n} : Vecteur unitaire porté par la normale de la surface.

L'angle de l'incidence et la hauteur du soleil sont définis par les formules suivantes [4, 5, 7, 8] :

$$N.n = N.\vec{n} \cdot \vec{N} \cos(i) \quad (I.23)$$

$$\begin{aligned} \cos \theta = & \sin \delta \cdot \sin \phi \cdot \cos \beta + \cos \delta \cdot \cos \phi \cdot \cos \beta \cdot \cos \omega + \cos \delta \cdot \sin \beta \cdot \sin \gamma \cdot \sin \omega \\ & - \sin \delta \cdot \cos \phi \cdot \sin \beta \cdot \cos \gamma \\ & + \cos \delta \cdot \sin \phi \cdot \sin \beta \cdot \cos \gamma \cdot \cos \omega \end{aligned} \quad (I.24)$$

Avec :

$\gamma = 0$: Vers le sud, $\gamma < 0$: Vers le l'Est, $\gamma > 0$: Vers le l'Ouest.

$\beta > 0$: Le plan regarde l'équateur, $\beta = 90$: Pour un plan vertical, $\beta = 0$: Pour un plan horizontal.

$\omega = 0$: Au midi solaire, $\omega < 0$: Le matin, $\omega > 0$: Après midi.

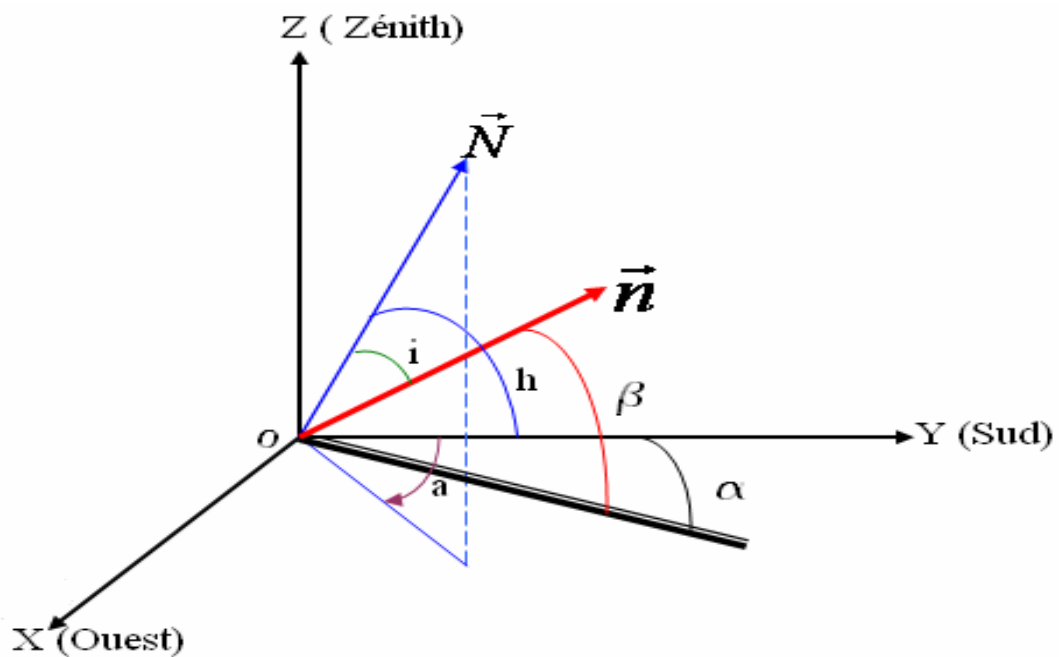


Figure I. 11 : Direction du rayonnement solaire

I. 9 Caractéristiques géographiques de la ville de Tlemcen :

Tlemcen est une ville située au nord-ouest de l'Algérie, à 580 Km de la capitale Alger, à une latitude de $34,56^\circ$, une longitude de $1,19^\circ$ et une altitude de 830 m. elle est caractérisée par des conditions climatiques assez particulières à savoir des étés chauds et secs et des hivers froids et rigoureux. Il est important de faire remarquer que son climat est quelque peu adouci par l'influence de la mer méditerranéenne relativement toute proche (à 45km).



Figure I.12 : Situation de la ville de Tlemcen (carte d'Algérie) [10]

I. 10 Conclusion :

Dans ce chapitre, on a commencé par quelques rappels sur le transfert thermique, on a présenté un récapitulatif de quelques notions de base relatif au gisement solaire, la connaissance de ces notions fondamentales et particulièrement le rayonnement global au sol va nous servir par la suite dans l'exploitation de l'énergie solaire par un capteur thermique à eau pour la production d'eau chaude sanitaire et le chauffage d'habitat.

Chapitre II

Les énergies renouvelables et
l'énergie solaire

II. 1 Introduction:

L'énergie se considère comme un moteur de développement des sociétés et des pays. Aujourd'hui la politique énergétique est basée essentiellement sur le nucléaire et sur les énergies fossiles, alors que les menaces sur le climat sont pour une grande part dues à leur utilisation et que la consommation d'énergie ne cesse d'augmenter.

D'autre part l'augmentation brutale du prix du pétrole survenue en 1973 a conduit une première fois l'homme à s'intéresser à des sources d'énergie renouvelables au premier rang parmi lesquelles l'énergie solaire. Les principales caractéristiques ayant suscité l'intérêt qu'on lui a porté à l'époque étaient sa gratuité, sa disponibilité sur une grande partie du globe terrestre et l'absence de risque d'épuisement connu par les sources d'énergie fossile.

II. 2 Consommation d'énergie dans le monde :

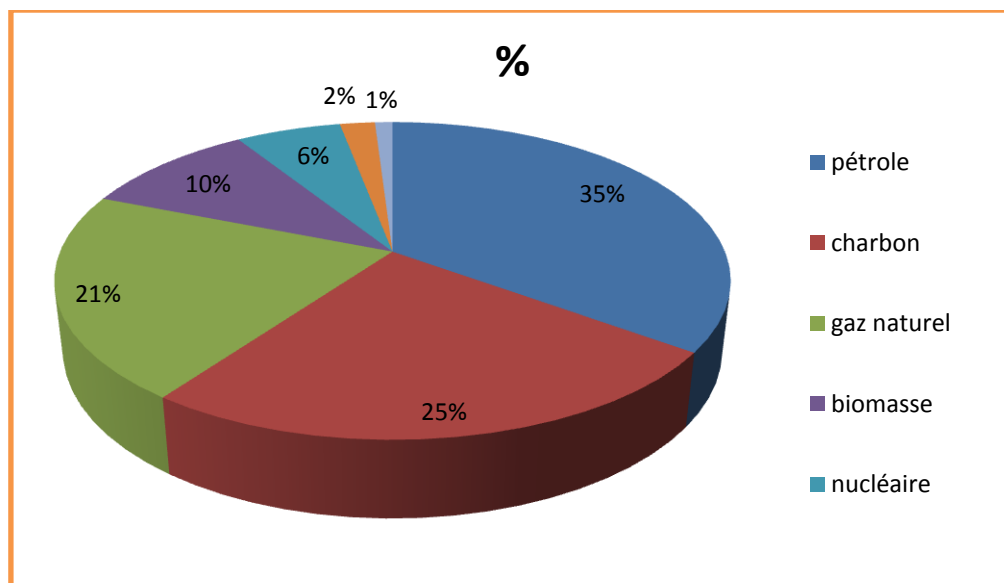


Figure II. 1: Part de chaque source d'énergie dans la demande mondiale d'énergie

Les besoins énergétiques de l'humanité n'ont cessé de croître avec son évolution : nous avons utilisé des ressources qui sont apparues avec le progrès scientifique telles que le charbon, le pétrole, le gaz ou encore le nucléaire.

Actuellement les énergies fossiles (pétrole, charbon et gaz) sont consommées bien plus rapidement qu'elles ne se forment dans la nature (figure II. 1), et il est estimé que les réserves mondiales seront épuisées vers 2030 si la consommation

n'est pas radicalement modifiée, et au maximum vers 2100 si des efforts sont produits sur la production et la consommation.

Etant donné que cette forme d'énergie couvre une grosse partie de la production énergétique actuelle, il s'avère nécessaire de trouver une autre solution pour prendre le relais.

II. 3 Les énergies renouvelables:



Figure II. 2: Les énergies renouvelables

II.3.1 Définition :

Etant donnée l'absence de la définition unique, l'énergie renouvelable a une signification diverse pour différentes personnes.

La définition de l'énergie renouvelable peut être largement comprise dans le nom même ; c'est une source d'énergie qui se régénère assez rapidement pour être considérée comme inexhaustible à l'échelle humaine.

L'énergie renouvelable est une énergie qui est dérivée d'un approvisionnement rempli constamment et naturellement dans une période relativement courte. [11]

Il y en a plein autour de nous. Au-dessus de nos têtes et même sous nos pieds !

On s'en sert **depuis des milliers d'années** et on continuera encore longtemps si on respecte bien la nature, les énergies renouvelables sont issues de phénomènes naturels réguliers ou constants provoqués par les astres, principalement le Soleil (rayonnement), mais aussi la lune (marée) et la terre (énergie géothermique). [12]

Les énergies renouvelables constituant les moyens sur lesquels s'inscrit le futur des activités économiques, elle est appelée « Energie propre » dont l'impacte sur l'environnement est limité sur l'émission des gaz à effet de serre.

Comparé aux énergies classiques (fossiles et nucléaires), les énergies renouvelables présentent le double avantage de ne pas être source d'émissions de gaz à effet de serre lors de leur utilisation et de présenter des gisements renouvelables donc inépuisables. Ce sont des énergies de flux, par opposition aux énergies dites de stock (gaz, fioul, charbon, uranium, ..) dont les gisements sont limités. Ce sont par ailleurs des énergies locales participant au développement local et créateur d'emplois.

II.3.2 Importance des énergies renouvelable :

L'intérêt des énergies renouvelables pour le monde tient à trois facteurs.

- ***L'augmentation du prix du pétrole:***

En effet, peu de pays sont producteurs de pétrole et la plupart de ceux qui en produisent sont des producteurs marginaux. Les pays importateurs aux économies faibles peuvent difficilement faire face aux flambées des prix du pétrole.

- ***La crise des compagnies d'électricité:***

La plupart des compagnies d'électricité du continent sont en crise ce qui conduit à un rationnement dans la fourniture et à des coupures intempestives d'électricité (surtout en Afrique). La nécessité de diversifier les sources de production de l'énergie électrique s'impose.

- ***La prise de conscience de l'impact des énergies fossiles sur l'environnement au niveau mondial:***

Les initiatives environnementales issues d'une part du programme Action 21 de la Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement durable tenue à Rio de Janeiro en 1992 et d'autre part de la Convention des Nations Unies sur les changements climatiques ainsi que le protocole de Kyoto sur la réduction des gaz à effet de serre ont suscité la

prise de conscience en Afrique de l'importance des énergies renouvelables pour la préservation de l'environnement.

C'est aussi très important de citer le facteur du comportement des consommateurs qui joue un rôle significatif étant donné que le caractère renouvelable d'une énergie dépend non seulement de la vitesse à laquelle la source se renouvelle, mais également de la rapidité à laquelle elle est consommée.

II.3.3 Les différents types d'énergies renouvelables :

Les sources renouvelables d'énergie sont désignées comme une énergie disponible, à partir de conversion énergétique permanent et naturel, économiquement exploitable dans les conditions actuelles ou dans un avenir prévisible. [13]

Les sources d'énergie renouvelables sont :

II.3.3.1 Energie éolienne : l'énergie éolienne est l'énergie du vent et plus spécifiquement, l'énergie tirée du vent au moyen d'un dispositif aérogénérateur comme une éolienne ou moulin à vent. Elle peut être utilisée de deux manières : directe et indirecte.

- Conversion de l'énergie mécanique : le vent est utilisé pour faire avancer un véhicule, pour pomper de l'eau (moulins de Majorque, éolienne de pompage pour abreuver le bétail) ou pour faire tourner la meule d'un moulin.
- Transformation en énergie électrique : l'éolien est accouplée à un générateur électrique pour fabriquer un courant continu ou alternatif, le générateur est relié à un réseau électrique ou bien il fonctionne de manière autonome avec un générateur d'appoint (par exemple un groupe électrogène) ou un parc de batteries ou un autre dispositif de stockage d'énergie.



Figure II. 3: Une éolienne

II.3.3.2 Energie solaire : le rayonnement solaire direct ou diffus parvenant sur une surface, rayonnement infrarouge. C'est l'énergie du soleil qui atteint la terre sous la forme du rayonnement d'onde courte, de lumière visible et de lumière ultraviolette proche. Après la pénétration dans l'atmosphère, une part de l'énergie chauffe la surface de la terre et l'autre part re-rayonnée retourne sous forme de rayonnement long-onde qui est absorbé par la vapeur d'eau et le dioxyde carbonique dans l'atmosphère. [14]

L'énergie photovoltaïque peut être désignée comme l'énergie récupérée et transformée directement en électricité à partir de la lumière du soleil par des panneaux photovoltaïque.

Applications thermiques de l'énergie solaire : architecture solaire (ensemble des solutions architecturales permettant la collecte, le stockage et le distribution de l'énergie solaire incidente sur le bâtiment), chauffage solaire passif (système utilisant directement les composants du bâtiment, ex : fenêtres convenablement orientées et actif (système utilisant des capteurs solaires pour transférer une part de l'énergie solaire incidente sur un bâtiment à fluide caloporteur, l'énergie thermique ainsi collectée est stockée et redistribuée par un système de chauffage classique), chauffage eau solaire, bassin solaire, séchage solaire, cuisinière solaire, four solaire...etc.

II.3.3.3 Energie de l'eau (hydraulique) : on peut distinguer :

- Energie des vagues : utilise la puissance du mouvement des vagues.
- Energie marémotrice : issue du mouvement de l'eau créée par les marées (variations du niveau de la mer, courants de marée).
- Energie hydrolienne : les hydroliennes utilisent les courants sous marins.
- Energie des océans : énergie qui peut être mise en œuvre par une exploitation de certaines caractéristiques physiques ou chimiques des mers ; énergie des marées, énergie des vague, courants marins...etc.

Ce type d'énergie est utilisé pour la production d'énergie mécanique ou électrique.

II.3.3.4 Energie géothermique : courant de chaleur à l'intérieur de la terre vers la surface de cette dernière résultant des températures élevées régnant au sein des profondeurs terrestres qui sont provoquées par le magma, le pluton, la décomposition naturelle d'éléments radioactifs dans la croûte terrestre.

Par rapport aux autres énergies renouvelables, la géothermie présente l'avantage de ne pas dépendre des conditions atmosphériques (soleil, pluie, vent). Les gisements géothermiques ont une durée de vie plusieurs dizaines d'années



Figure II. 4: Energie géothermique

II.3.3.5 Energie de la biomasse : Masse de matière organique non fossile d'origine biologique, une partie de ce gisement peut être éventuellement exploitable à des fins énergétiques.

Bien que les différentes formes d'énergies de biomasse soient classées comme renouvelables, il faut noter que leur taux de renouvellement est variable ; il est modulé par les cycles saisonnières et journaliers du flux solaire, les aléas climatiques, les techniques culturales ou le cycle de croissance des plantes, et peut être affecté par une exploitation trop intense.

La biomasse est la fraction biodégradable des produits, déchets et résidus provenant de l'agriculture, y compris les substances végétales et animales, de la sylviculture et des industries connexes ainsi que la fraction biodégradable des déchets industriels et ménagers. [15]

On distingue :

- Biomasse primaire : ensemble de végétaux à croissance plus ou moins rapide utilisables directement ou après un processus de conversion pour produire de l'énergie.
- Biomasse secondaire : ensemble des résidus d'une première exploitation de la biomasse pour l'alimentation humaine ou animale, ou pour des activités domestiques ou agroindustrielles qui lui ont fait subir des transformations. Ces résidus sont principalement les fumiers, lisiers, boues d'épuration des effluents, déchets agricoles et déchets forestiers.

II. 4 Les énergies renouvelables en Algérie :

Les questions de la disponibilité et du coût des énergies fossiles devenant problématiques, l'Algérie envisage leur substitution progressive par des sources d'énergie inépuisables. Le marché des énergies renouvelables est prometteur et leur promotion constitue l'un des axes de la politique énergétique et environnementale du pays. [16]

Dans notre pays, les énergies renouvelables n'ont pas connu le développement que permet leur disponibilité, et qu'impose leur importance pour le développement économique et social.

Trois raisons principales plaident en faveur d'un développement des énergies renouvelables en Algérie :

- Elles constituent une solution économiquement viable pour fournir des services énergétiques aux populations rurales isolées notamment dans les régions du Grand Sud.
- Elles permettent un développement durable du fait de leur caractère inépuisable, et de leur impact limité sur l'environnement et contribuent à la préservation de nos ressources fossiles.
- La valorisation de ces ressources énergétiques ne peut qu'avoir des retombées positives en matière d'équilibre régional et de création d'emplois.

La loi sur la maîtrise de l'énergie de juillet 1999 affiche la volonté des pouvoirs publics pour une redynamisation de la politique énergétique et fixe un nouveau cadre juridique pour la gestion et l'orientation de la demande d'énergie à tous les niveaux de la chaîne énergétique. [17]

II. 5 L'énergie solaire :

L'énergie solaire est l'énergie que dégage le soleil sous forme de rayonnement, direct ou diffus. Sur terre l'énergie solaire est à l'origine du cycle de l'eau et du vent, le règne végétal dont dépend le règne animal, l'utilise également en la transformant en énergie chimique par la photosynthèse. Grâce aux diverses exécutions, elle peut être transformée en une autre forme d'énergie utile pour l'activité humaine, notamment en chaleur, en électricité ou en biomasse. Par extension, l'expression « énergie solaire » est souvent employée pour désigner l'électricité ou l'énergie thermique obtenue à partir du rayonnement solaire.

La source :

Le Soleil est à l'origine de nombreuses énergies renouvelables. Son rayonnement constitue en lui-même une énergie exploitable. Ce rayonnement donne aussi naissance à d'autres formes d'énergie, elle dépend de plusieurs facteurs :

❖ De la saison :

L'angle d'incidence des rayons solaires avec l'horizontale et la longueur du jour varie en cours d'année. Or la quantité d'énergie reçue par une surface dépend de l'angle d'incidence. La quantité d'énergie se répartit donc de façon inégale dans le temps, c'est la succession des saisons et dans l'espace, c'est le découpage du globe en grandes zones climatiques.

❖ De la localisation géographique :

Pour atteindre chaque point de la surface éclairée du globe (1/2 sphère) les rayons lumineux doivent traverser une couche atmosphérique d'épaisseur variable selon la position géographique du lieu.

La connaissance du nombre d'heures d'ensoleillement annuel en un point ne suffit pas à déterminer le potentiel solaire en ce point, car cet ensoleillement peut présenter des caractéristiques très variables selon l'heure et la saison (soleil plus ou moins bas sur l'horizon) et selon l'état de l'atmosphère.

❖ Elle dépend aussi de l'état du ciel :

Un ciel clair peu nuageux va présenter une bonne transmission de l'énergie à la surface du sol qu'un ciel couvert et gris.

L'énergie solaire est inépuisable, non polluante et gratuite, elle peut être captée et transformée en chaleur ou en électricité grâce à des capteurs adaptés. Alors on distingue deux types d'énergie solaire.

II. 6 L'Algérie et l'énergie solaire:

La situation géographique de l'Algérie dispose un gisement solaire élevé au monde ce qui conduit notre pays à utiliser cette source pour les énergies quotidiennes (chaleur, électricité, climatisation....).

La durée d'insolation sur le quasi totalité du territoire national dépasse les 2000 heures annuellement et peut atteindre les 3900 heures (hauts plateaux et Sahara). Cet avantage conduit notre pays à intégrer pleinement cette source d'énergie dans la stratégie de développement, notamment comme moyen de réduire les disparités économiques entre les différentes régions du pays.

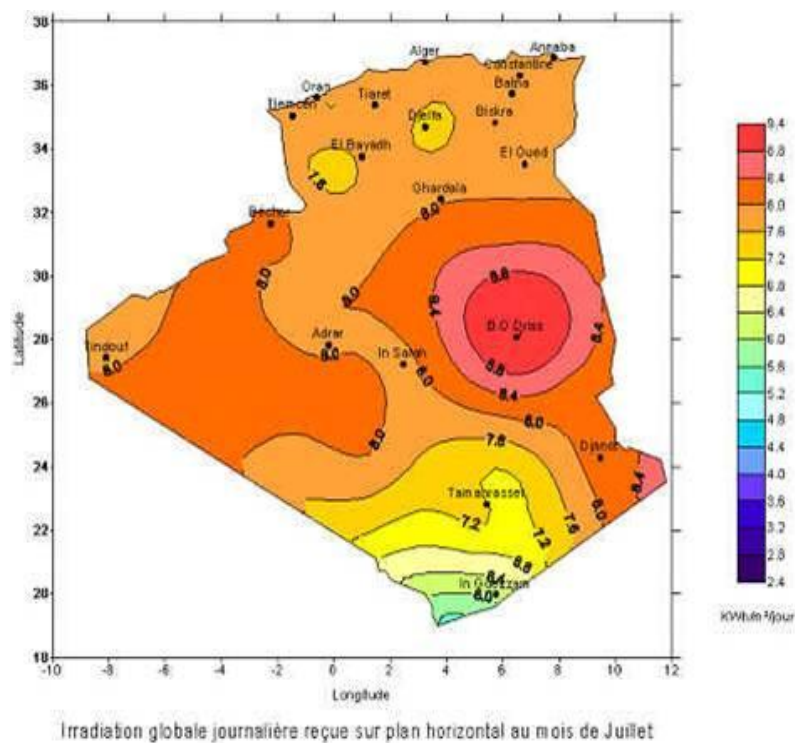


Figure II. 5: Irradiation globale journalière reçue sur un plan horizontale au mois de juillet en Algérie.

II. 7 Conclusion :

Dans le monde, la consommation d'énergie ne cesse de croître avec l'évolution de l'humanité. Nous avons commencé par une présentation de la quantité consommée d'énergie dans le monde, la quantité d'énergies fossiles (pétrole, charbon et gaz), mais leur consommation cause des problèmes pour notre planète (pollution, réchauffement climatique...) et leurs réserves mondiales sont limitées alors l'homme a cherché d'autres sources d'énergies propres et surtout gratuites pour les prochaines générations (énergie solaire, éolienne, biomasse, géothermique et hydraulique).

Nous avons présenté l'importance d'énergie solaire et à la fin on a démontré que notre pays l'ALGERIE dispose un grand gisement solaire

Chapitre III

Les capteurs solaires

III. 1 Historique :

Depuis la préhistoire, le soleil a séché la nourriture de l'homme, il a également évaporé l'eau de la mer pour rapporter du sel. Depuis que l'homme a commencé à raisonner, il a identifié le soleil comme puissance motrice derrière chaque phénomène naturel, c'est pour quoi plusieurs des tribus préhistoriques ont considéré le soleil comme dieu.

L'idée d'utiliser les collecteurs à énergie solaire est enregistrée depuis des temps préhistoriques où aux 212 avant J.C, Archimède a conçu une méthode pour brûler la flotte romaine à l'aide des miroirs métalliques.

Pendant le 18ème siècle, des fours solaires capables de fondre le fer, le cuivre et d'autres métaux étaient construits. Un four conçu par le scientifique français Antoine Lavoisier, atteint la température remarquable de 1750°C.

Pendant le 19ème siècle des tentatives ont été faites afin de convertir l'énergie solaire en d'autres formes basées sur la génération de la vapeur à basse pression pour actionner des machines à vapeur. En 1875, Mouchot a fait une avance notable dans la conception de capteur solaire en faisant un réflecteur sous forme de cône court.

En 1901, A.G. Eneas a installé un collecteur de focalisation de diamètre 10 m qui a permis d'actionner un appareillage de pompage de l'eau d'une ferme de Californie.

Pendant les 50 dernières années beaucoup de constructions ont été conçues en utilisant les collecteurs solaires afin de chauffer le fluide de fonctionnement qui actionne l'équipement mécanique.

La fabrication des chauffe-eau solaires a commencé à partir des années 50. Leur industrie a augmenté très rapidement dans beaucoup des pays du monde.

Le manque de l'eau était toujours un problème de l'humanité, par conséquent parmi les premières tentatives est d'utiliser l'énergie solaire pour le dessalement de l'eau de mer.

La distillation solaire a été dans la pratique pendant longtemps, l'utilisation des concentrateurs solaires dans la distillation solaire a été rapportée par Pasteur (1928)

qui a employé un concentrateur pour focaliser les rayons solaires sur une chaudière de cuivre contenant de l'eau.

III. 2 Les effets de l'énergie solaire :

Le soleil est la principale source d'énergie de la terre. Le rayonnement électromagnétique qu'il émet produit lumière et chaleur. Le contenu énergétique de ce rayonnement se compose pour 45 % de lumière visible et pour 49 % de rayonnement au-delà du rouge visible (chaleur infrarouge). Le rayonnement solaire est nécessaire au maintien des conditions de vie sur terre. Cette énergie peut être exploitée par deux grandes manières : conversion photovoltaïque ou conversion thermique.

III. 3 Conversion photovoltaïque :

Tous les jours, le soleil fournit de l'énergie à la Terre. On peut utiliser cette énergie gratuite grâce à une technologie appelée photovoltaïque, qui transforme l'énergie solaire en électricité.

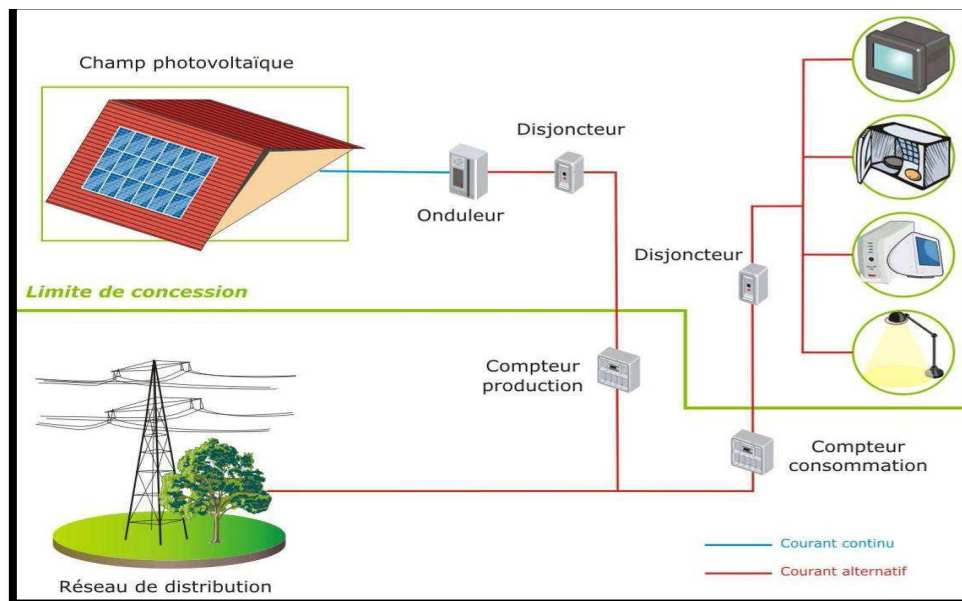


Figure III. 1: Champ d'utilisation de photovoltaïque

III.3.1 La cellule photovoltaïque :

III.3.1-1 Historique :

La cellule solaire est l'élément de base des panneaux solaires qui produisent de l'électricité. Une cellule solaire (ou bien une cellule photovoltaïque) est un composant électronique exposé à la lumière du soleil, qui génère de l'électricité après l'excitation de ses électrons, cet effet est appelé l'effet photovoltaïque, qui a été découverte par le français Edmond Becquerel en 1839.

Ce n'est qu'en 1954 que les laboratoires BELL mettent au point une cellule au silicium capable de convertir directement en électricité l'énergie solaire avec un rendement de 6%.

En 1958, les cellules photovoltaïques trouvent une place dans l'industrie avec l'industrie spatiale américaine qui utilisera des cellules ayant un rendement de 9% pour alimenter ses satellites.

La recherche est très active dans le domaine du solaire photovoltaïque. Les prix diminuent constamment et les rendements progressent.

En 20 ans, les rendements sont passés de 15% à 36% dans les laboratoires. Ce dernier chiffre serait celui atteint sur Terre par les cellules solaires utilisées par les robots martiens. Les rendements des systèmes disponibles commercialement sont quant à eux passés de 5% à plus de 20%. [18]

III.3.1-2 Description :

Les modules ou panneaux photovoltaïques sont composés de semi-conducteurs qui permettent de transformer directement la lumière du soleil en électricité.

Ces modules peuvent s'avérer une source d'énergie qui est sûre, fiable, sans entretien et non polluante pendant très longtemps. La majorité des modules sur le marché aujourd'hui sont pourvus de garanties de plus de 20 ans, et ils fonctionneront bien au-delà de cette période.

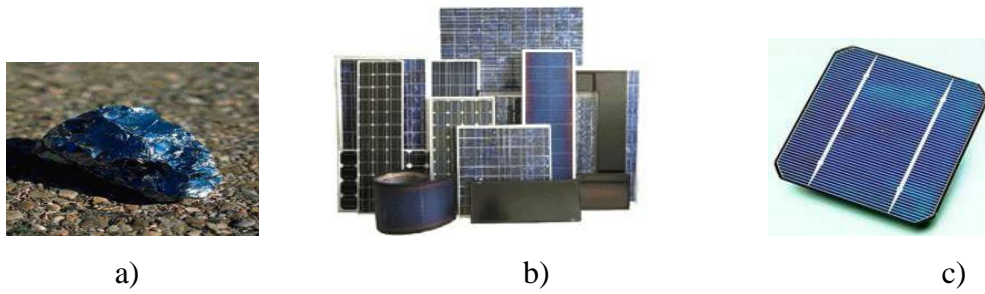


Figure III. 2 : a) silicium matière première, b) cellule photovoltaïque, c) panneaux photovoltaïque

Un cristal semi-conducteur dopé P est recouvert d'une zone très mince dopée N et d'épaisseur e égale à quelques millièmes de mm. Entre les deux zones se trouve une jonction J.

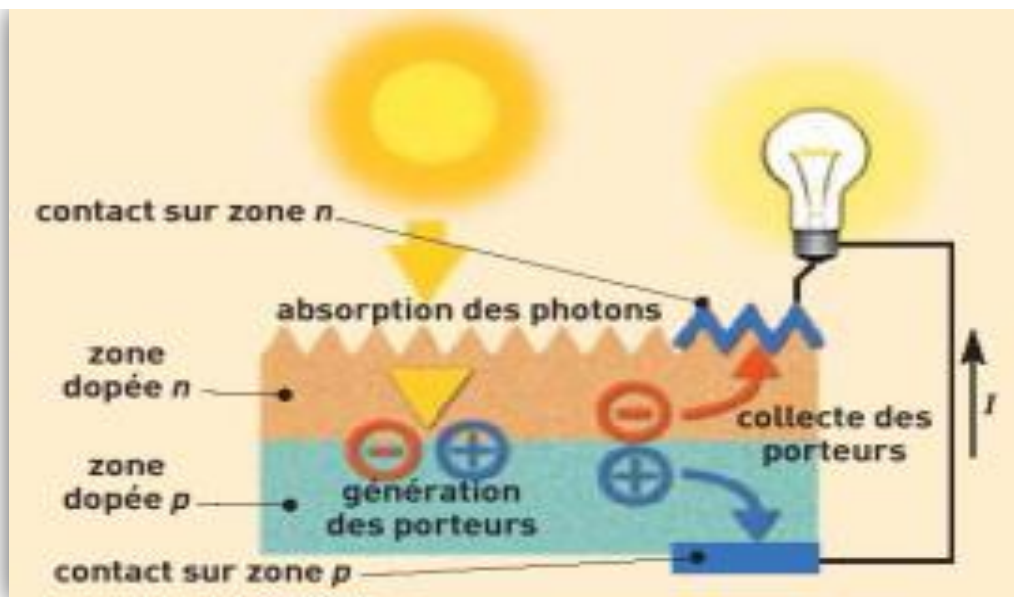


Figure III. 3 : Production d'électricité dans une cellule photovoltaïque

La zone N est couverte par une grille métallique qui sert de cathode **k** tandis qu'une plaque métallique **a** recouvre l'autre face du cristal et joue le rôle d'anode. L'épaisseur totale du cristal est de l'ordre du mm. [19]

Un rayon lumineux qui frappe le dispositif peut pénétrer dans le cristal au travers de la grille et provoquer l'apparition d'une tension entre la cathode et l'anode.

III.3.2 Principe de la conversion photovoltaïque : [20]

La formation d'une jonction réalisée par sur-dopage du silicium représente le principe de base de la cellule solaire. La création d'une barrière de potentiel dans le semi-conducteur permet de séparer les électrons et les trous qui sont générés par l'absorption de la lumière dans le matériau. Les types de barrières les plus communes sont l'homojonction (jonction p/n dans le même semi-conducteur), l'hétérojonction (Jonction p/n entre deux matériaux différents) et les barrières Schottky (métal/semi-conducteur).

Lors de la formation de la jonction, les électrons diffusent vers la zone p et les trous vers la zone n (alignement du niveau de Fermi), afin de tendre vers un équilibre thermodynamique. Le dipôle, créé aux bords de la jonction, entraîne la formation d'un champ électrique qui s'oppose à l'équilibre à tout déplacement de charges. La polarisation de la jonction en direct permet alors de diminuer la hauteur de la barrière de potentiel et donc l'intensité de champ électrique permettant le passage de porteurs. A l'opposé, une polarisation inverse augmentera la hauteur de barrière.

La relation courant-tension pour une diode idéale à l'obscurité est donnée par la relation (III-1)

$$I' = I'_0 \left[\exp\left(\frac{qV}{nkT_a}\right) - 1 \right] \quad (\text{III.1})$$

Avec I'_0 : courant de saturation de la diode.

n: facteur d'idéalité de la diode

k : Constante de Boltzmann

q : charge électrique

III.3.3 Les différentes technologies :

Le silicium est actuellement le matériau le plus utilisé pour fabriquer les cellules photovoltaïques disponibles à un niveau industriel.

Il existe un grand nombre de technologies mettant en œuvre l'effet photovoltaïque. Beaucoup sont encore en phase de recherche et développement.

Les principales technologies industrialisées en quantité à ce jour sont : le silicium mono ou polycristallin (plus de 80% de la production mondiale) et le silicium en couche mince à base de silicium amorphe ou CIS (Cuivre Indium Sélénium). [21]

III.3.3-1 Cellule en silicium monocristallin :

Lors du refroidissement, le silicium fondu se solidifie en ne formant qu'un seul cristal de grande dimension. On découpe ensuite le cristal en fines tranches qui donneront les cellules. Ces cellules sont en général d'un bleu uniforme.

Avantage :

- Très bon rendement (17.2%).

Inconvénients :

- Coût élevé,
- Rendement faible sous un faible éclairement.

III.3.3-2 Cellule en silicium polycristallin :

Pendant le refroidissement du silicium, il se forme plusieurs cristaux. Ce genre de cellule est également bleu, mais pas uniforme, on distingue des motifs créés par les différents cristaux.

Avantage :

- Bon rendement (13%), mais cependant moins bon que pour le monocristallin.
- Moins cher que le monocristallin.

Inconvénient :

- Les mêmes que le monocristallin.

Ce sont les cellules les plus utilisées pour la production électrique (meilleur rapport qualité prix).

III.3.3-3 Cellule en silicium amorphe :

Le silicium n'est pas cristallisé, il est déposé sur une feuille de verre. La cellule est gris très foncé. C'est la cellule des calculatrices et des montres.

Avantage :

- Fonctionnement avec un éclairement faible.
- Moins chères que les autres.

Inconvénients :

- Rendement faible en plein soleil (environ 7%)
- Performances diminuent sensiblement avec le temps.

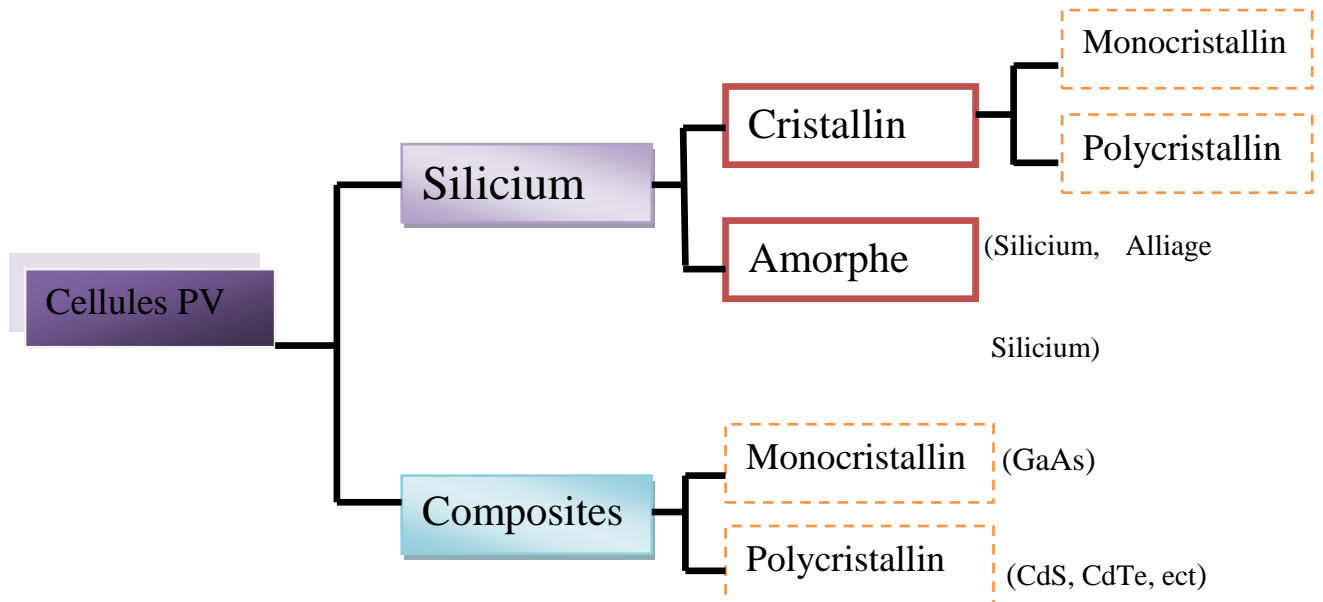


Figure III. 4: Les différentes technologies des cellules photovoltaïques

On trouve aussi certaines cellules qui utilisent d'autres matériaux : [22]

- ✓ GaAs : arséniure de galium. Matériau monocristallin, qui fournit des cellules en couches minces ayant un très bon rendement mais dont le prix les destine au domaine spatial.
- ✓ CdTe : tellure de cadmium. Matériau polycristallin déposé sur un substrat en verre.
- ✓ CIS : diséléniure de cuivre et d'indium. Ce matériau donne des photopiles très stables dans le temps.
- ✓ TiO₂ : dioxyde de titane. Cette technologie en est au stade expérimental.

Ces technologies sont encore très coûteuses mais elles laissent espérer des rendements bien supérieurs au silicium et une durée de vie plus grande.

II.3.4 Systèmes photovoltaïques : avantages et limites :

II.3.4-1 Avantages :

Les systèmes solaires électriques offrent de nombreux avantages, dont les suivants :

- ils sont de fonctionnements sûrs, non polluants et silencieux.
- ils sont très fiables.
- ils n'exigent presque aucun entretien.
- ils fonctionnent de façon rentable dans les régions éloignées et dans de nombreuses applications résidentielles et commerciales;
- ils sont flexibles et peuvent être élargis à n'importe quel moment pour répondre à vos besoins en matière d'électricité. Ils vous donnent une autonomie accrue – fonctionnement indépendant du réseau ou système de secours pendant les pannes d'électricité.

II.3.4-2 Limites :

Vous devriez être également conscient des limites pratiques des systèmes PV :

- Ils ne conviennent pas aux utilisations à forte consommation d'énergie comme le chauffage. Si vous souhaitez utiliser l'énergie solaire à cette fin, considérez d'autres solutions de recharge comme un chauffe-eau solaire, qui produit de la chaleur beaucoup plus efficacement.
- Les systèmes raccordés au réseau sont rarement économiques, surtout parce que le coût actuel de la technologie PV est beaucoup plus élevé que celui de l'énergie traditionnelle. Étant donné que ces systèmes peuvent être coûteux, le choix d'un système photovoltaïque dépend souvent d'une décision personnelle axée sur le style de vie – tout comme le type de maison ou de voiture que vous pourriez avoir.

En conclusion, les systèmes photovoltaïques permettent d'exploiter l'énergie du soleil à diverses fins. Ils sont très fiables et constituent une source non polluante d'électricité qui peut convenir à toute une gamme d'applications.

III. 4 Conversion thermique :

Le solaire thermique est une technique utilisée pour produire de la chaleur à partir du rayonnement du soleil, réservée aux régions fortement ensoleillées [23].

L'utilisation du solaire thermique a connu une croissance moyenne de 20% par an entre 1999 et 2006. Le solaire thermique consiste à utiliser le rayonnement solaire on le transformant en énergie thermique.

Il se présente de différentes façons : centrales solaires thermodynamiques, chauffe-eau et chauffage solaires, rafraîchissement solaire, cuisinières et sècheurs solaires.

La production de cette énergie peut être soit utilisée directement (pour chauffer un bâtiment par exemple) où indirectement (comme la production de vapeur d'eau pour entraîner des alternateurs et ainsi obtenir une énergie électrique).

III.4.1 Les capteurs solaire thermiques:

III.4.1.1 Définition :

On appelle capteur solaire thermique un appareil susceptible de transformer l'énergie du rayonnement solaire en énergie thermique qui peut être utilisée après pour chauffer des locaux, fournir de l'eau chaude sanitaire, sécher les grains, faire fonctionner des moteurs thermiques...

III.4.1.2 Le principe de fonctionnement d'un capteur thermique :

Certains matériaux laissent passer une gamme étendue de longueurs d'onde, alors que le verre est transparent seulement au visible et au proche infrarouge.

Entourant un corps noir d'une cage de verre, la lumière traversant le verre échauffe le corps noir et la porte à une température de 30° à 100°C environ.

Ce corps noir faiblement chauffé va donc émettre dans l'infrarouge pour lequel le verre est opaque, l'infrarouge piégé dans la cage va retourner au corps noir contribuant ainsi un échauffement ; *c'est l'effet de serre.*

Le capteur solaire est d'autant plus performant que le revêtement de l'absorbeur a un coefficient d'absorption élevé et un coefficient d'émission faible. Les matériaux qui présentent ces caractéristiques sont dits "sélectifs".

Aujourd'hui, pour des raisons de coût, le choix s'est porté sur du chrome noir déposé électrochimiquement sur une plaque de cuivre. [24]

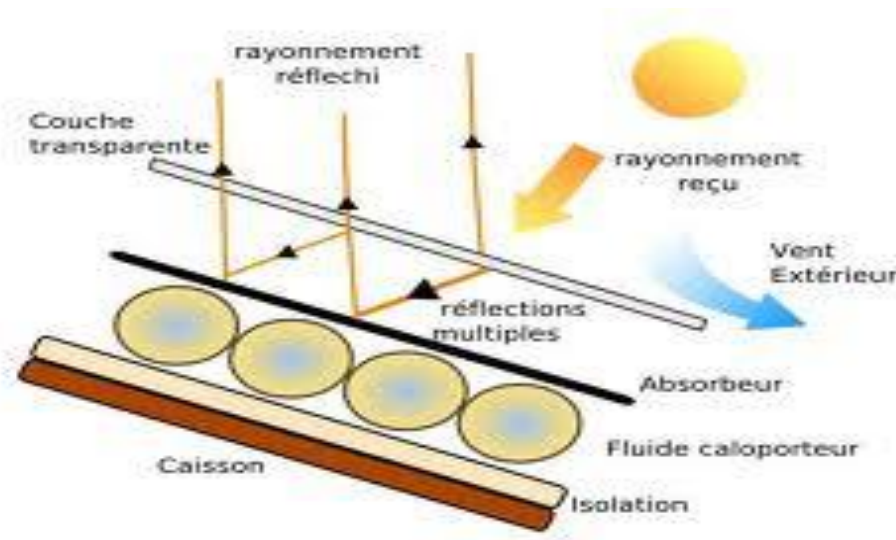


Figure III. 5: Principe de fonctionnement d'un capteur solaire thermique [25]

III.4.1.3 L'effet de serre :

Le Soleil émet en permanence un rayonnement (mélange de lumière visible, d'infrarouges et d'ultraviolets) qui se propage dans l'espace. Une partie de ce rayonnement solaire qui traverse l'atmosphère terrestre est absorbée par la surface de la terre. Celle-ci émet en retour un rayonnement infrarouge (de la chaleur) en direction de l'espace. Cependant, une partie de ce rayonnement infrarouge est renvoyée en direction de la surface terrestre par certains gaz de l'atmosphère appelés « gaz à effet de serre »

(Les principaux gaz à effet de serre sont la vapeur d'eau, le dioxyde de carbone, le méthane, l'ozone et l'oxyde nitreux). Pour schématiser, l'atmosphère et les gaz à effet de serre se comportent comme la vitre qui maintient la chaleur à l'intérieur de la serre d'un jardinier.

Il y a plusieurs types des capteurs solaires thermiques; et dans notre étude on a fait une étude approfondie sur les capteurs plans les plus fréquents utilisant l'eau ou l'air comme fluide caloporteur. Il existe deux types de capteurs solaires : les capteurs plans, les capteurs par concentration.

III.4.2 Les type des capteurs solaires :

Il existe trois types de panneaux solaires thermiques :

III.4.2.1 Les capteurs plans non vitrés dit " capteur moquette "

Ce sont de longs tubes de couleur noire, qui piège le mieux la chaleur, qui sont en plastique ou en métal, dans lesquels circule de l'eau. Ces capteurs sont bien adaptés pour le chauffage des piscines. [26]



Figure III. 6: Capteurs solaires sans vitrage (capteur moquette). [27]

III.4.2.2 Les capteurs plans avec vitrage

Ils comprennent un caisson isolant au-dessus duquel est fixée une vitre en verre ou en plastique.

A l'intérieur, une feuille métallique noire absorbe l'énergie rayonnée et qui est emprisonnée dans le caisson. Cette chaleur est transmise à un autre fluide caloporteur

qui ne gèle pas en hiver. Ce fluide caloporteur circule librement dans des tuyaux vers le point d'utilisation. L'élévation de température par rapport à la température de l'air ambiant peut atteindre +70°C. C'est l'idéal pour produire de l'eau chaude pour la maison ou pour le chauffage de tous les types de bâtiments. [28]

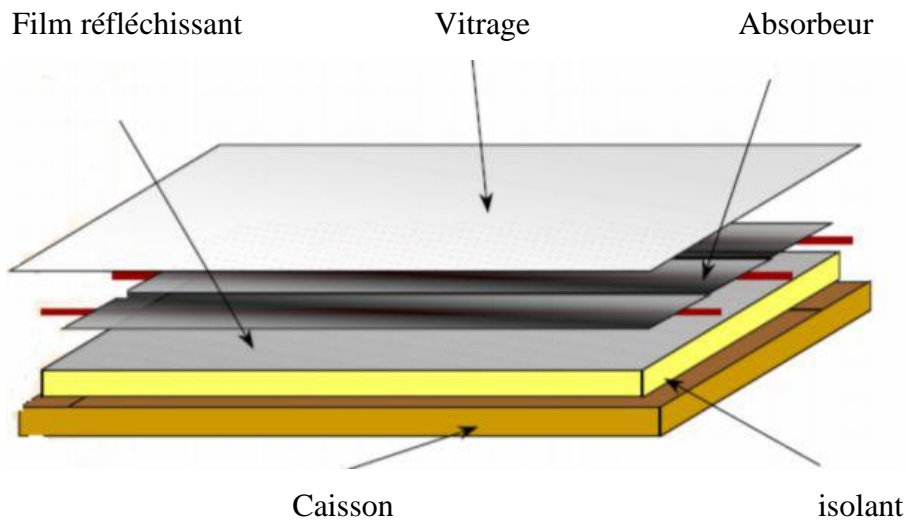


Figure III. 7: Composants types d'un capteur plan avec vitrage [29]

III.4.2.3 Les capteurs sous vide

Ils se présentent sous la forme d'un panneau où sont alignés une série de tubes de verre transparent. Dans ces tubes, on a fait du vide, qui est un des meilleurs isolants thermiques existants. Dans chaque tube, un absorbeur capte la chaleur solaire et un système d'échangeur de chaleur et la transmet à un fluide caloporteur. Comme pour les autres capteurs, ce fluide circule vers les points d'utilisation. La température peut s'élever jusqu'à 100-140° C. Ces capteurs sont adaptés aux applications industrielles qui nécessitent de hautes températures.

Le système de circulation comporte une pompe de circulation ou un thermosiphon. Ce dernier joue sur le fait que l'eau chaude est plus légère que l'eau froide. Dans un circuit de tuyaux verticaux, l'eau chaude monte d'elle-même et l'eau froide descend. Un thermosiphon ne peut fonctionner que si le point d'utilisation de l'eau chaude est situé au-dessus du capteur. Le système de régulation est équipé de sondes de mesure de la température et d'un thermostat contrôlant la mise en route ou l'arrêt de la pompe de circulation.

Les capteurs sous vide sont parmi les plus efficaces et parmi les types les plus coûteux des capteurs solaires. Tout comme pour les capteurs solaires de types vitrés, les applications des capteurs sous vide sont utilisées pour le chauffage de

l'eau des résidences des bâtiments commerciaux, le chauffage des bâtiments, ainsi que celui des piscines intérieures. [27]



Figure III. 8: Capteurs solaire sous vide [30]

Les capteurs sous vide possèdent un absorbeur sélectif et perdent peu de chaleur, même dans les régions froides.

II.4.3 Les capteurs solaire plans :

Le capteur solaire plan est un système thermique qui permet la conversion de l'énergie solaire en énergie calorifique, la chaleur reçue de cette conversion est utilisée soit directement (cas de chauffage), soit elle même convertie en énergie mécanique par l'intermédiaire des cycles thermodynamique. Son principe de fonctionnement est basé sur l'effet de serre qui consiste à piéger le rayonnement solaire, ce dernier arrive au niveau du couvert et le traverse pour atteindre une surface revêtue d'une peinture noir, appelé absorbeur. [31]

L'absorbeur va absorber une grande partie du rayonnement solaire entraînant une augmentation de sa température. Le rayonnement réfléchi par l'absorbeur arrive sur la vitre et comme celle-ci est opaque aux rayonnements infrarouges, le rayonnement est ainsi piégé.

III.4.3.1 Description du capteur plan :

Un capteur plan utilise l'effet de serre et parvient à récupérer environ 50% de l'énergie incidente. Il se compose des éléments suivants : le vitrage, l'absorbeur, l'isolant, le fluide caloporteur et le boîtier.

III.4.3.1-1 Le vitrage (couvercle) :

Elle est transparente, formée de verre ou de plastique. Les avantages de ce dernier sont: le poids réduit et l'absence de fragilité, et ses inconvénients sont: faible résistance aux agents atmosphériques comme la pluie, la neige..., pour cela il est moins utilisé.

Le rôle de la couverture est essentiellement d'augmenter l'effet de serre au voisinage d'une isolation de la face avant de l'absorbeur et elle doit avoir les propriétés suivantes:

- ❖ Transmettre le maximum d'énergie dans l'environnement de l'absorbeur.
- ❖ S'oppose à tous échanges d'échange inverse c'est-à-dire l'absorbeur vers l'extérieur. (Ces propriétés concernent tous les échanges qu'ils soient convectifs ou radiatifs).
- ❖ Le choix des matériaux convenables à l'utilisation dépend de:
 - ✓ Leur résistance aux températures de fonctionnement courantes
 - ✓ La permanence dans le temps, la conductibilité reste constante
 - ✓ La résistance au choc qui modifie la répartition des produits utilisés dans la couche isolante

Il existe deux types de vitrages : vitrage simple et vitrage double.

Matériaux	Transmissivité à incidence normale	
	$\lambda = 0.4-2.5 \mu\text{m}$	$\lambda = 20.-4.0 \mu$
Le verre	0.83-0.91	0.00-0.03
Les plastiques en feuilles	0.76-0.92	0.02-0.06
Les plastiques en films	0.85-0.87	0.2-0.26

Tableau (III- 1) : Transmissivité de divers types de couvertures dans les gammes du visible et de l'infrarouge

III.4.3.1-2 L'absorbeur :

C'est une surface parcourue d'un réseau de tubulures, revêtue d'une peinture noire.

L'absorbeur a pour rôle de transformer en chaleur le rayonnement électromagnétique qu'il reçoit et de transmettre cette chaleur au fluide caloporteur.

Cette surface noire doit avoir les caractéristiques suivantes :

- ❖ Une bonne conductivité et diffusivité thermique.
- ❖ Un facteur d'absorption aussi voisin que possible de l'unité.
- ❖ Une bonne résistance chimique vis-à-vis du fluide.

L'absorbeur peut être [32] :

- *En cuivre* : c'est le meilleur (bon conducteur), et travaille très bien mécaniquement mais il est le plus coûteux.

- *En acier* : ayant une faible conductivité thermique et un coût moins élevé. En fait de nombreux capteurs utilisent comme absorbeur des radiateurs extra plats de chauffage central.

- *En aluminium* : qui nécessite l'emploi d'un fluide caloporteur spécial pour des problèmes de corrosion.

Afin de réduire les pertes du capteur et accroître son efficacité, il est préférable de recouvrir la surface de l'absorbeur d'un revêtement sélectif, qui a un facteur d'absorption le plus élevé et un facteur d'émission le plus faible.

<i>Couches sélectives</i>	<i>absorptivité</i>	<i>émissivité</i>	<i>commentaire</i>
<i>Noir de zinc</i>	<i>0.9</i>	<i>0.1</i>	-
<i>Oxyde de cuivre sur aluminium</i>	<i>0.93</i>	<i>0.11</i>	-
<i>Noir de cuivre sur cuivre</i>	<i>0.85-0.94</i>	<i>0.08-0.12</i>	-
<i>Noir de nickel sur nickel</i>	<i>0.93</i>	<i>0.06</i>	<i>Influencé par l'humidité aux températures élevées</i>
<i>Ni-Zn-S sur nickel</i>	<i>0.96</i>	<i>0.07</i>	-
<i>Noir de fer</i>	<i>0.90</i>	<i>0.10</i>	-
<i>Noir de chrome sur nickel</i>	<i>0.92-0.94</i>	<i>0.07-0.12</i>	<i>Stable a hautes températures</i>

Tableau (III- 2) : Propriétés de quelques couches sélectives [33]

III.4.3.1-3 L'isolant :

L'isolant joue un rôle très important dans les applications thermiques de l'énergie solaire, non seulement au niveau des absorbeurs, dont il faut limiter les pertes, mais aussi pour calorifuger les tuyauteries chargées de véhiculer la chaleur, et la maison elle-même, lorsqu'il s'agit de chauffage solaire.

Elle (l'isolation) est généralement constituée d'une couche isolante, qui diminue les pertes par convection et ralentit ainsi le refroidissement de la face opposée au rayonnement solaire. Le choix du matériau à utiliser dépend de :

- 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.

L'isolation arrière et latérale

- Les isolants utilisés sont généralement : la laine de verre, les mousses de polyuréthane.

Les matériaux utilisés doivent avoir une conductivité thermique la plus faible

- Leurs caractéristiques doivent être permanentes dans le temps.
- Certains produits (laine) présente un tassement qu'on doit lutter.

- Certains produits (laine) sont sensibles à l'humidité (pluie...) donc il faut avoir une étanchéité
- Certains produits (laine) doivent résister au feu et au rongeur.
- Il faut que les produits utilisés résistent aux températures de fonctionnement qui dépassent largement les 100°C pour les capteurs modernes, dans certains cas (capteur en stagnation). [34]
- une isolation en partie inférieure pour éviter les pertes thermiques à l'arrière du capteur.

Désignation	Conductivité thermique [W.m ⁻¹ .°C ⁻¹]	Masse volumique [Kg.m ⁻³]	T° max [°C]	Observation
Laine de verre	0.050	70	/	Sensible à l'humidité (pare vapeur)
Laine de roche	0.050	80-150	150	/
Mousse de verre	0.057	123	150	/
Liège expansé	0.042	95	110	/
	0.074	105	110	
Polystyrène	0.042	15	85	Moulé
	0.0440	17	85	Comprimé
	0.035	35	85	Comprimé
Polyuréthane	0.027	35-45	110	Mousse

Tableau (III- 3): Quelques données relatives aux matériaux d'isolation arrière

Ces valeurs correspondent à la température de 50°C: C'est la température moyenne d'utilisation dans les convertisseurs héliothermiques à basse température

Le choix des matériaux convenables à l'utilisation dépend de:

- La permanence dans le temps de leurs caractéristiques (absence du vieillissement avec le temps, conductibilité thermique reste constante).

- Résistance au choc qui modifie la répartition des produits utilisés dans la couche isolante.
- Degrés de résistance à l'humidité, à l'eau de pluie (laines).
- Résistance au feu, aux rongeurs et insectes etc.
- Leur résistance aux températures de fonctionnement courantes.

III.4.3.1-4 Le fluide caloporteur :

Est un moyen de transfert de la chaleur collectée par l'absorbeur à un fluide d'échange thermique appelé fluide de travail.

Les fluides caloporteurs utilisés sont :

- ✚ L'air : qui est gratuit mais possédant une faible capacité calorifique comparativement à celle de l'eau (1 litres d'eau peut véhiculer une énergie équivalente qui peut véhiculer 3000 litres d'air).
- ✚ L'eau : qui possède les avantages suivants :
 - Une grande chaleur massique.
 - Une faible viscosité.

III.4.3.1-5 Le boîtier :

Il contient les trois éléments cités précédemment et dont les parois sont tapissées d'une couche isolante destinée à réduire les pertes de chaleur vers l'arrière et les cotés du capteur, celui-ci doit être solide et résistant à la corrosion.

III. 5 Les paramètres influant sur le fonctionnement d'un capteur solaire :

L'efficacité thermique du capteur solaire dépend fortement du matériel, de la forme, des dimensions, de la disposition du capteur et des conditions environnantes. Tous ces facteurs peuvent être classés en deux catégories principales :

III.5.1 Les paramètres internes :

III.5.1.1 La vitre :

La plus part des capteurs solaires couverts utilisés sont à couverture simple, à double ou triple. Ils ont montré dans une étude expérimentale que la couverture triple donne des performances plus importantes que celle à double vitre grâce à la minimisation des pertes vers l'extérieur. Turhan. Koyuncu (2006), a aussi étudié

expérimentalement l'influence du nombre de couvertures et il a trouvé que ce facteur influe fortement sur l'efficacité du capteur.

Le verre est tout à fait intéressant comme couverture pour les dispositifs solaires, puisque il absorbe presque tout le rayonnement infrarouge réémis par l'absorbeur ayant pour résultats une amélioration de l'efficacité thermique du capteur. Mais son utilisation possède aussi des inconvénients qui sont : son coût élevé et sa fragilité pendant le transport et en service, c'est la raison pour laquelle, pendant plusieurs années des couvertures en plastique transparent ont été appliquées largement pour construire des capteurs solaires de coût modéré et rigides. Dans ce cadre, Donation Njomo (1998) a souligné d'après une étude numérique, qu'un capteur avec double couverture de matière différente (ici la couverture extérieure est en plexiglace et celle intérieure est en verre) a des performances meilleures qu'un capteur à deux vitres de même matière.

III.5.1.2 L'absorbeur

L'augmentation de la surface du capteur accroît le taux du rayonnement solaire intercepté et la surface de contact entre l'absorbeur et le fluide caloporteur (augmentation de la surface d'échange), mais aussi elle augmente le coefficient des pertes thermiques entre la couverture et l'extérieur.

L'allongement du capteur solaire influe fortement sur son efficacité

De ce fait, des chercheurs ont proposé d'augmenter le transfert thermique entre l'absorbeur et le fluide caloporteur (sans toucher les dimensions du capteur) par l'ajout des obstacles (ailettes)

Alors les obstacles peuvent augmenter la surface d'échange, réduire les zones mortes et créer la turbulence.

A. Abene et al (2004), ont montré que la forme, les dimensions, l'orientation et la disposition de ces obstacles influents considérablement sur l'efficacité du capteur (comme souligné par K. R. Ahrwal et B. K Gandhi (2008)).

III.5.1.3 Forme et diamètres des pipes :

Un autre facteur influe aussi sur l'efficacité du capteur, c'est bien, la tuyauterie, qui est généralement soudée à la partie inférieure de l'absorbeur et des fois fait partie de l'absorbeur, sa forme diffère d'un capteur à un autre.

Parmi ces différentes formes, la forme sinusoïdale est la plus efficace, puisque elle offre la plus grande surface d'échange et réduit les zones mortes. Le diamètre des pipes le plus efficace est de l'ordre de 6.35 mm.

Pour les réchauffeurs solaires à doubles passes et dans le but d'améliorer leurs efficacités, ont proposé d'ajouter un milieu poreux au canal inférieur (voir le schéma ci-dessous) ce qui augmente le secteur de transfert thermique d'où l'élévation de la température de sortie et par conséquent un rendement de 60-70%, c'est à dire 20-70% plus haut qu'un capteur sans milieu poreux.

Alors les milieux poreux donnent une efficacité 25.9% plus élevée et que leur conductivité thermique a un effet significatif sur le rendement des capteurs solaires à air.

III.5.1.4 La circulation du fluide caloporteur :

L'augmentation de la circulation du fluide caloporteur augmente la puissance du capteur solaire.

Le débit d'air a l'effet le plus fort sur l'efficacité d'échanges thermiques et par conséquent sur le rendement.

D'après le travail expérimental et numérique la diminution du débit massique augmente la température du fluide et décroît les gains globaux de la chaleur, au dessus d'un débit de 0.06 m³/h, la température du fluide n'augmente plus.

La façon de passage de l'air a une influence considérable sur l'efficacité du capteur solaire.

Plusieurs travaux ont été faits dans le but de vérifier la faisabilité d'augmenter le nombre de passage de l'air d'une seule passe à un double passes et même a multi passes.

La réutilisation (recyclage) de l'air accroît la vitesse du fluide ce qui peut améliorer l'efficacité du capteur plus de 80%.

III.5.1.5 L'isolation :

Les pertes de chaleur principales du capteur sont de la couverture, puisque les cotées et le dos peuvent être isolés, alors que la face avant doit être exposée au rayonnement solaire et à la température ambiante. C'est pour cela l'air est utilisé

fréquemment comme une isolation contre les pertes de chaleur conductives et convectives de l'absorbeur vers la vitre.

On peut réduire ces pertes en utilisant de l'isolation transparente (ici un film de bulles d'air). Des chercheurs ont montré qu'on peut utiliser l'aérogel (matériau poreux de faible conductivité thermique) comme une superbe isolant de la face avant du capteur solaire plan.

III.5.1.6 L'orientation et l'inclinaison du capteur :

L'influence de l'orientation d'un capteur et de son inclinaison avec l'horizontal est due au fait que ces deux dernières changent le rayonnement solaire atteignant la surface du capteur.

La meilleure orientation du capteur solaire est de l'orienter directement au sud. L'angle optimum d'inclinaison est appliqué à une variété de systèmes, tels que, les capteurs plans ou paraboliques, les panneaux photovoltaïques, maisons solaires et serres installées dans une position fixe. Cet angle joue un rôle important en augmentant la collection d'énergie par les capteurs solaires. Des études expérimentales et numériques tridimensionnelle prouvent que, le Nusselt sur la surface des capteurs dépend faiblement de l'angle d'attaque et lorsque ce dernier diminue le taux de transfert thermique augmente.

III.5.2 Paramètres externes :

III.5.2.1 Obstacles

Il s'agit avant tout des constructions et de la végétation, leur position dans la trajectoire solaire peut créer sur les surfaces captatrices une ombre nuisible au bon fonctionnement de l'installation.

III.5.2.2 Rayonnement solaire

L'efficacité du capteur solaire est influée considérablement par le rayonnement solaire, et l'élévation de la température varie presque linéairement avec le rayonnement solaire incident.

III.5.2.3 Température

La température de l'environnement influe fortement sur le fonctionnement du capteur solaire.

Des expériences ont montré dans une étude expérimentale que les capteurs peuvent être endommagés par le gel pendant la nuit couverte.

III.5.2.4 Vitesse du vent

La vitesse du vent apparaît dans le coefficient de convection entre la vitre et l'extérieur qui agit sur la valeur des pertes, c'est pourquoi la connaissance des données météorologiques est importante. Lorsque le coefficient de transfert thermique dû au vent est à son maximum (pour une longueur de 1m d'absorbeur noir installé horizontalement) la réduction maximum de l'efficacité s'avère au plus bas niveau.

III. 6 Pertes thermiques dans un capteur solaire plan :

Les pertes thermiques au niveau du capteur solaire peuvent avoir lieu par l'intervention des trois modes de transfert thermique: convection, conduction et rayonnement. Elles sont dues à la différence de température entre l'absorbeur et le milieu ambiant. Ces pertes ont lieu suivant les trois modes de transfert thermique, soit : conduction, convection ou rayonnement.

Pour évaluer toutes les pertes du capteur, on pose les hypothèses suivantes :

- 1) Le régime est permanent.
- 2) La puissance absorbée par la vitre est négligeable.
- 3) La conduction dans la vitre est négligeable.
- 4) Les pertes entre la face externe de l'isolant et celle de l'absorbeur sont confondues.

III.6.1 Pertes par convection :

Ce mode de transfert intervient généralement entre la couverture et le milieu extérieur, l'absorbeur et la lame d'air, la lame d'air et la couverture.

Le coefficient de pertes thermiques augmente avec l'augmentation de l'émissivité de l'absorbeur, sa température, et le coefficient d'échange convectif avec l'air ambiant, alors qu'il diminue avec l'accroissement de la distance entre l'absorbeur et la vitre. Les obstacles soudés à l'absorbeur peuvent réduire les pertes par l'avant en diminuant la température de l'absorbeur.

- a) Le coefficient de perte par convection entre le vitrage et l'ambiance est calculé par la relation de HOTTEL et WOERTZ :

$$h_{cv}(v, a) = 5,67 + 3,86V_v \quad (\text{III. 2})$$

Avec V_v : la vitesse du vent [m/s].

- b) Le coefficient de perte par convection entre le vitrage et l'absorbeur lorsque l'angle d'inclinaison du capteur (pour un angle d'inclinaison qui varie entre 0° et 75°) :

$$h_{cv}(ab, v) = Nu \cdot \bar{\lambda} / dh \quad (\text{III. 3})$$

Avec:

$$\lambda = Pr \cdot \nu / Cp \quad (\text{III.4})$$

ν : viscosité cinématique

Cp : capacité calorifique

λ : conductivité thermique de l'air

dh : épaisseur de la lame d'air

Et le Nusselt moyen en fonction du nombre de Rayleigh est donné par la relation suivante :

$$\overline{Nu} = 1 + 1.44 \left[1 - \frac{1780(\sin 1.8\beta)^{1.6}}{Ra \cdot \cos\beta} \right] \left[1 - \frac{1708}{Ra \cdot \cos\beta} \right] - \left[\left(\frac{Ra \cdot \cos\beta}{5830} \right)^{\frac{1}{3}} - 1 \right] \quad (\text{III. 5})$$

Le nombre de RAYLEIGH :

$$Ra = Re * Pr \quad (\text{III. 6})$$

III.6.2 Pertes par conduction

Les pertes par conduction peuvent avoir lieu entre l'absorbeur et la vitre lorsque ces derniers se trouvent sur une très faible distance, comme elles existent au niveau de l'isolation de la partie arrière et latérale du capteur.

III.6.3 Pertes par rayonnement

Les matériaux utilisés comme couvertures laissent passer le rayonnement solaire incident mais ils sont opaques au rayonnement infrarouge réémis par l'absorbeur porté à la température de 35 à 100 °C (c'est l'effet de serre), la face interne de la couverture absorbe ce rayonnement infrarouge, puis elle subit une augmentation de température et rayonne à son tour moitié vers l'extérieur et moitié vers l'absorbeur. Donc, les pertes par rayonnement sont diminuées de moitié. Il serait possible de réduire encore ces pertes en mettant plusieurs couvertures.

a) Coefficient de perte par rayonnement entre le vitrage et le ciel :

Sachant que la surface du ciel tend vers l'infini et $F_{v-c} = 1$ (le facteur de forme entre vitre et ciel) :

$$h_r(v, c) = \varepsilon_v \cdot \sigma \cdot \frac{(T_v^2 + T_c^2)(T_v^2 + T_c^2)}{(T_v + T_c)} \quad (\text{III. 7})$$

Avec : $T_c = 0.0522(T_a)^{1.5}$. (III. 8)

b) Coefficient de perte par rayonnement entre l'absorbeur et le vitrage :

La surface de l'absorbeur est la même que celle du vitrage (en général), le facteur de forme : $F_{v-a} = 1$, alors :

$$h_r(ab, v) = \varepsilon_a \cdot \sigma \cdot (T_{ab}^2 + T_v^2)(T_{ab} + T_v) \quad (\text{III. 9})$$

Avec ε_a : émissivité apparente du système interne donnée par :

$$\varepsilon_a = \left[\frac{1}{\varepsilon_{ab}} + \frac{1}{\varepsilon_v} - 1 \right] \quad (\text{III. 10})$$

III.6.4 Evaluation du coefficient des pertes vers l'avant :

L'énergie absorbée par la vitre est nulle, cela veut dire que le flux d'énergie partant de l'absorbeur vers la vitre est le même que celui sortant de la vitre vers l'ambiance.

On estime le coefficient de perte vers l'avant par la relation suivante :

$$U_{av} = \left[\frac{1}{h_{cv}(ab, v) + h_r(ab, v)} + \frac{1}{h_{cv}(v, a) + h_r(v, c)} \right]^{-1} \quad (\text{III. 11})$$

Vu à la complication de la détermination du coefficient des pertes thermiques vers l'avant par la méthode analytique (elle nécessite de connaître la température de la

vitre) KLEIN a établi une relation empirique en faisant intervenir la température de l'absorbeur. Cette relation permet de calculer U_{av} pour les températures (20 -200°C)

$$U_{av} = \left[\frac{N_v}{\frac{c}{T_{ab}} \left(\frac{T_{ab}-T_a}{N_v+F} \right)^e + h_{cv}(v,a)} \right]^{-1} + \frac{\sigma \cdot (T_{ab}+T_a)(T_{ab}^2+T_a^2)}{[\varepsilon_{ab}+0,00591 \cdot N_v \cdot h_{cv}(v,a)]^{-1}} + \frac{2N_v+F-1+0,133\varepsilon_{ab}}{\varepsilon_v} - N_v \quad (\text{III. 12})$$

Avec :

c : Facteur qui tien compte de l'influence de l'inclinaison

$$c=520(1-0,000051 \beta^2) \quad \text{pour } 0<\beta<70^\circ$$

Pour $70<\beta<90^\circ$ on prend $\beta=70^\circ$

F : facteur qui tient compte de l'effet du vent :

$$F= [1-0,089 \cdot h_c(v,a)-0,1166 \cdot h_{cv} \cdot \varepsilon_{ab}] \cdot [1+0,07866N_v] \quad (\text{III. 13})$$

$$e= 0,43 (1-100/T_{ab}) \quad (\text{III. 14})$$

14)

III.6.5 Evaluation du coefficient des pertes vers l'arrière :

Il est donné par :

$$U_{ar} = \frac{K_i}{e_i} \quad (\text{III. 15})$$

III.6.6 Evaluation du coefficient des pertes latérales:

$$U_{lat} = \frac{K_b}{e_b} \cdot \frac{S_i}{S_c} \quad (\text{III. 16})$$

Avec :

$$\frac{S_i}{A_c} = \frac{2 \cdot e_b(L_c+l_c)}{L_c \cdot l_c} \quad (\text{III. 17})$$

Les pertes latérales sont données par :

$$Q_{p \text{ lat}} = U_{lat} (T_{ab}-T_a) \quad (\text{III. 18})$$

III. 7 Capteurs solaire par concentration

Les capteurs plans ne peuvent généralement pas porter les fluides caloporteurs à très hautes températures. En revanche, il est possible d'utiliser des capteurs par concentration (figure III. 8), mais ils sont plus complexes et plus onéreux.

Un capteur à concentration est un capteur solaire comportant un système optique (réflecteur, lentilles, ...) destiné à concentrer sur l'absorbeur le rayonnement reçu (d'où le nom de capteur à concentration). Naturellement ces concentrateurs doivent suivre le mouvement du soleil. En utilisant des réflecteurs afin de concentrer les rayons du soleil sur l'absorbeur d'un capteur solaire, cela permet de diminuer grandement la taille de l'absorbeur, ce qui réduit les pertes de chaleur et augmente son efficacité à hautes températures. Un autre avantage de ce système est que les réflecteurs sont sensiblement moins coûteux, par unité de surface, que les capteurs.

Il existe quatre types de capteurs à concentration :

- Réflecteur cylindro-parabolique.
- Réflecteur parabolique.
- Centrale à tour.

Les capteurs à concentration permettent d'obtenir une température élevée au foyer, cependant ils n'utilisent que les rayons directs du soleil et il faut que les capteurs soient orientés en permanence vers le soleil, on utilise en général pour cela des systèmes asservis.

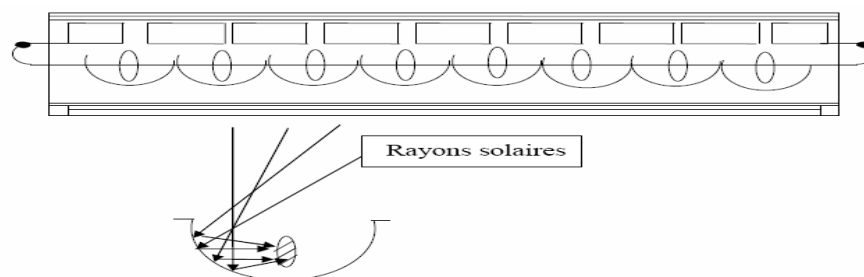


Figure III. 9: Représentation schématique d'un capteur à concentration.

III.7.1 Capteur solaire parabolique :

Ressemblant à des paraboles de réception satellite, le capteur solaire parabolique (Figure III.9) est un miroir qui concentre les rayons solaires dans un foyer ponctuel. Les progrès réalisés ont permis d'atteindre des rendements dépassant ceux des autres technologies thermo solaires.

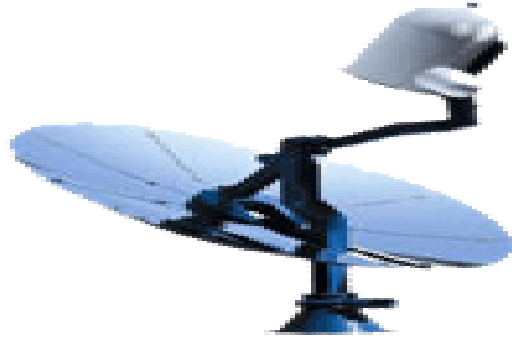


Figure III. 10: Capteur solaire parabolique

➤ Principe de fonctionnement d'un capteur solaire parabolique :

Le principe de fonctionnement de ce type de capteur est décrit représenté dans (Figure III.10). Le miroir parabolique réfléchit les rayons du soleil vers un point de convergence, le rayonnement solaire est alors concentré sur le récepteur qui monte en température.

Le récepteur en question est un moteur Stirling qui fonctionne grâce à la montée en température et en pression d'un gaz contenu dans une enceinte fermée. Ce moteur convertit l'énergie solaire thermique en énergie mécanique et ensuite en électricité.

Tout au long de la journée, le socle de la parabole s'oriente automatiquement face au soleil pour suivre sa course et ainsi profiter d'un ensoleillement maximum.

Les systèmes à réflecteur parabolique peuvent atteindre 1 500 °C sur le récepteur, et parvenir à des rendements optimaux de conversion de l'énergie solaire en électricité en utilisant une faible quantité d'énergie.

La performance de l'ensemble du système est étroitement liée à la qualité optique de la parabole et au rendement du moteur Stirling. [35]

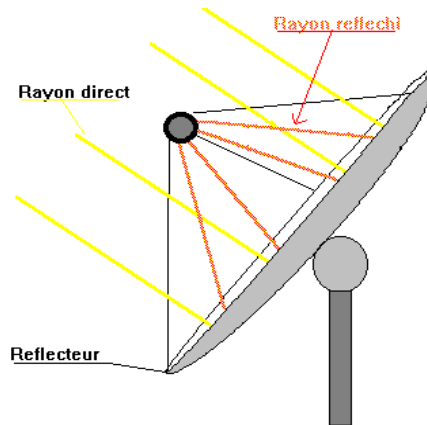


Figure III. 11: Principe de fonctionnement d'un capteur à miroirs paraboliques

III.7.2 Capteur solaire cylindro-parabolique :

Un capteur cylindro-parabolique est un capteur à concentration à foyer linéaire utilisant un réflecteur cylindrique de section parabolique. Dans un concentrateur cylindro-parabolique, le fluide caloporteur (eau, huile thermique ou gaz) peut être porté à environ 400 °C.

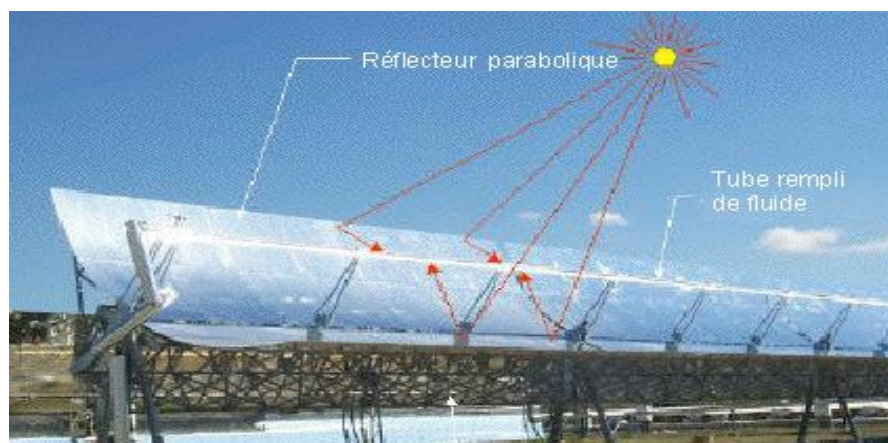


Figure III. 12: Système à réflecteur Capteurs cylindro-paraboliques

➤ **Principe de fonctionnement d'un capteur solaire cylindro-parabolique :**

Le capteur cylindro-parabolique (Figure III. 11) s'oriente vers le soleil grâce à un dispositif de vérin électrique automatique et concentre le rayonnement solaire au niveau de l'absorbeur. Le fluide caloporteur circule dans le circuit de chauffage et conduit la chaleur vers la cuve de stockage; à l'aide d'une pompe à faible débit. L'eau, étant chauffé, produit de la vapeur qui entraînera une turbine actionnant une génératrice qui a son tour produit de l'électricité. La vapeur va ensuite être condensée afin de retourner à la cuve et refaire le cycle d'utilisation.

III.7.3 Centrale à tour :

Un héliostat utilise un ensemble de pointeurs solaires à double axe qui dirige l'énergie du soleil vers un grand absorbeur situé dans une tour. A ce jour, la seule application du capteur héliostat est la production d'énergie dans un système dénommé «centrale à tour». Une centrale à tour possède un ensemble de grands miroirs qui suit le mouvement du soleil. Les miroirs concentrent les rayons du soleil sur le récepteur en haut de la grande tour. Un ordinateur garde les miroirs alignés afin que les rayons du soleil, qui sont réfléchis, visent toujours le récepteur, où la température peut dépasser 1000 °C. De la vapeur à haute pression est générée afin de produire de l'électricité. [36]



Figure III. 13 : Système de centrale à tour

III. 8 Conclusion :

Ce chapitre concerne les applications d'énergie solaire et les capteurs utilisés pour sa conversion soit en électricité ou en chaleur. Un détail sur les capteurs plans thermiques à eau avec les équations des coefficients de pertes thermiques.

Chapitre IV

Chauffage solaire de l'habitat

IV. 1 Introduction :

Tous les types de bâtiments, qu'ils soient d'habitation ou tertiaires, nécessitent des systèmes plus ou moins complexes pour maintenir, pour leurs occupants, une ambiance confortable. Ces systèmes apportent, suivant les saisons, chaleur ou fraîcheur, avec plus ou moins d'efficacité (meilleure ambiance pour une moindre consommation). Le développement récent de l'énergie solaire dans le bâtiment a mis en évidence l'utilisation de collecteurs plans, couplés à un stockage thermique.

Le chauffage des locaux constitue une application particulièrement intéressante de l'énergie solaire par l'utilisation des capteurs à eau par leur développement industriel, ces matériels sont maintenant fiables et performants.

Une première démarche, aujourd'hui devenue classique, consiste à remplacer la chaudière d'un chauffage traditionnel à fluide par une cuve de stockage réchauffée par un groupe de capteurs.

IV. 2 La production directe de chaleur pour l'habitat:

La chaleur peut être obtenue directement de l'énergie solaire ; il suffit d'exposer au rayonnement solaire un corps qui chauffe et qui peut échanger de la chaleur avec un système adapté. Ainsi, on peut chauffer des maisons et l'eau destinée à des usages sanitaires (chauffe-eau solaire). Pour cela, on utilise deux dispositifs :

- Un dispositif de capteurs plans situé sur le toit (chauffe l'eau et/ou la maison).
- Un mur Trombe-Michel (chauffe uniquement la maison).

Dans ces deux dispositifs, le principe de base est le même. Il consiste à chauffer un fluide (air ou eau) grâce à l'énergie solaire recueillie. Ce fluide, une fois chauffé, va céder sa chaleur à l'eau sanitaire, à l'eau du circuit de chauffage ou à l'air de la maison.

IV.2.1 Le chauffe-eau solaire :

On ne peut pas utiliser directement l'eau chauffée dans les capteurs du fait de l'antigel. On va donc se servir de cette eau (eau antigel) pour chauffer l'eau sanitaire. Pour cela, on réalise le montage suivant.

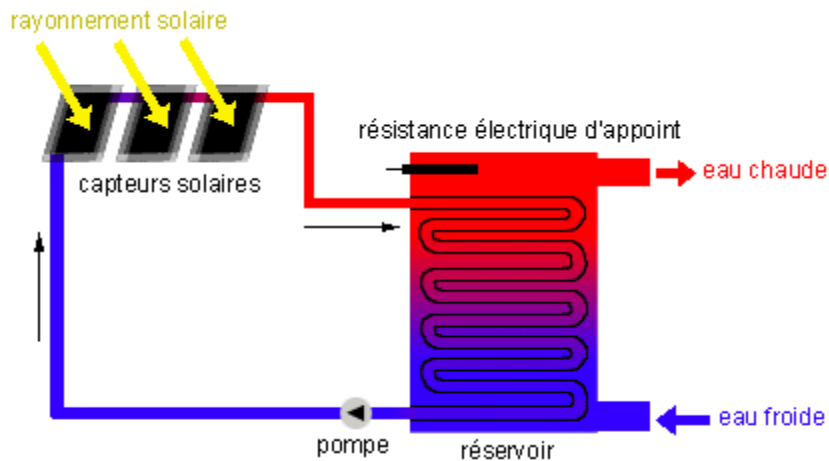


Figure IV. 1 : Schéma d'un chauffe-eau solaire.

Le fluide (eau antigel) du circuit fermé passe dans les capteurs où il se chauffe. Il échange ensuite sa chaleur avec l'eau du chauffe-eau. Tandis que l'eau du chauffe-eau se réchauffe, le fluide se refroidit. Il repasse alors à nouveau dans les capteurs (une pompe assure la circulation du fluide dans le circuit fermé). Et ainsi de suite. Par ce système, on peut obtenir de l'eau chaude pouvant atteindre au maximum une température de 90°C.

IV.2.2 Le chauffage solaire des maisons :

On utilise la chaleur emmagasinée par le fluide (eau antigel) pour chauffer la maison. C'est donc un chauffage solaire à eau chaude, dans lequel la chaleur peut être distribuée par des radiateurs ou par le sol (solution plus fréquente). Dans ce dispositif, le fluide échange sa chaleur avec la dalle qui elle-même va transmettre la chaleur reçue par le fluide à l'air de la maison. Ainsi, la dalle est un intermédiaire entre le fluide et l'air.

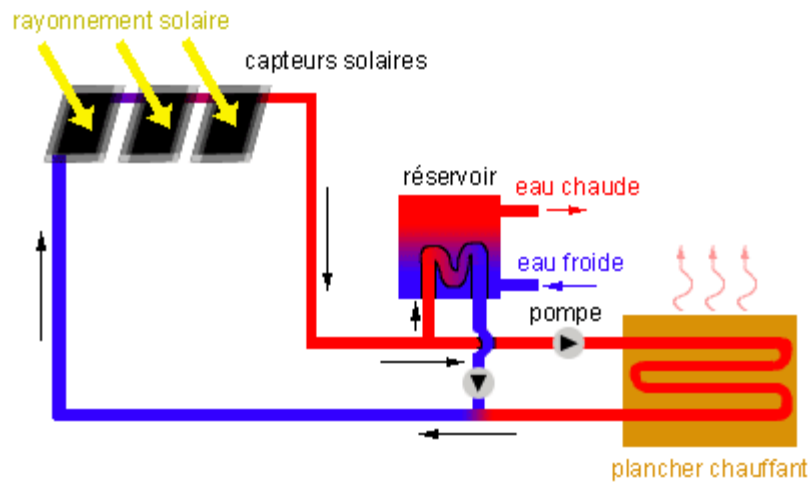


Figure IV. 2 : Schéma d'une installation destiné pour le chauffage des maisons

Le réservoir d'eau chaude peut avoir deux fonctions :

- Il peut servir la nuit à chauffer la dalle de la maison. En effet la nuit le fluide ne peut pas se chauffer via les capteurs solaires. Il faut donc une réserve de chaleur pour le chauffage central ou bien utiliser une chaufferie classique.
- Il peut aussi tout simplement être utilisé comme chauffe-eau afin de fournir l'eau chaude sanitaire.

IV.2.3 Le mur Trombe-Michel :

Il doit son nom au Professeur Félix Trombe, célèbre pour ses travaux sur les fours solaires, et à l'architecte Jacques Michel, qui ont tous deux participé à son élaboration.

Le mur Trombe-Michel est un système directement incorporé au mur d'une maison. Une des parties d'un mur extérieur est remplacé par du double vitrage derrière lequel est situé un mur de béton (le mur de béton se trouve donc dans la maison).

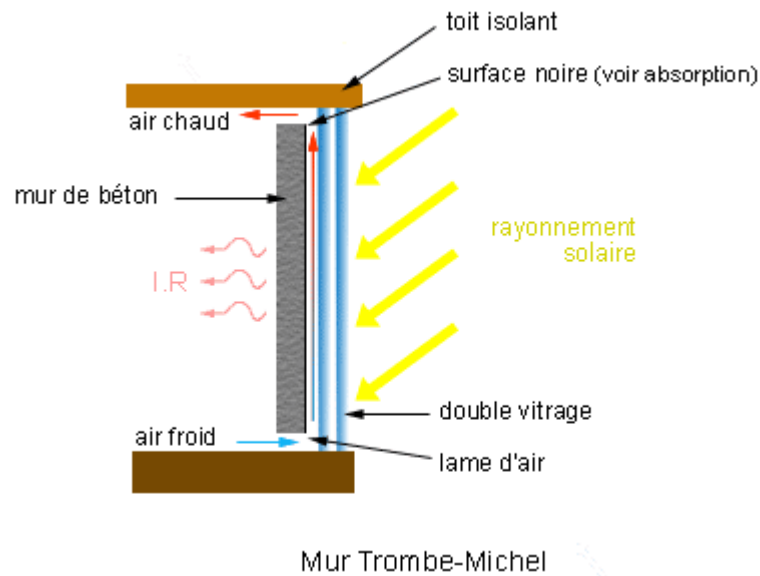


Figure IV. 3 : Le mur Trombe-Michel

C'est encore le principe de l'effet de serre qui est utilisé ; le mur capte la chaleur et en utilise une partie pour chauffer l'air situé entre le mur de béton et le double vitrage. L'air chaud étant moins dense que l'air froid, il monte. C'est cette circulation qui assure le chauffage de la maison (dans la pièce, l'air froid est chassé par l'air chaud entre le mur et le double vitrage).

L'épaisseur du mur est telle qu'elle permet de conserver une partie de la chaleur absorbée durant le jour et de la restituer plus tard (la nuit par exemple). Donc le chauffage se fait :

- soit directement par l'air.
- soit par rayonnement lent (infrarouge) : le mur transmet lui-même par rayonnement IR à l'air de la maison une partie de la chaleur qu'il a reçue du soleil.

Il est important de préciser que ces systèmes sont dans la plupart des cas complétés par un système d'appoint (résistance placée dans le chauffe-eau ou chauffage classique) afin de compléter si nécessaire les besoins énergétiques.

IV. 3 Rudiments d'un système de chauffage solaire:

Un système de chauffage solaire se compose d'un système de capteurs, d'un système de stockage, d'un système de circulation et de distribution de cette chaleur, et de régulateurs.

L'élément clé du système est le capteur solaire, dont les fonctions sont d'absorber le maximum de rayonnement solaire et de transférer cette énergie au fluide caloporteur en émettant le minimum de pertes (de reflets, de conduction et de rayonnement). À présent, la forme de fluides caloporteurs les mieux connue dans les applications de systèmes de chauffage solaire sont l'eau et l'air également un mélange d'eau et d'antigel est d'usage commun. [37]

Dans le cas d'un moyen de transport d'énergie liquide, l'accumulateur peut être un réservoir de stockage.

Dans le cas d'un moyen de transport d'énergie à air, le médium de stockage est un contenant clos qui renferme un lit de pierres ou d'un autre matériau convenable.

Tous les systèmes de chauffage solaire, à part les plus simples, sont munis d'un système de circulation qui permet un transfert constant de fluide caloporteur du système de capteur au système de stockage. Sauf dans les cas où cette circulation se fait par convection naturelle, les systèmes emploient une pompe ou un ventilateur pour véhiculer le liquide caloporteur dans la direction voulue.

Un régulateur muni d'un détecteur de température contrôle le fonctionnement marche – arrêt de la pompe ou du ventilateur, selon les besoins, afin de maintenir un niveau de température optimal à l'intérieur du système.

On distingue deux types de systèmes de chauffage solaire : les systèmes passifs et les systèmes actifs.

IV. 4 Systèmes de chauffage solaire passifs:

Les systèmes de chauffage solaire passifs captent et emmagasinent l'énergie surtout au moyen de procédés de flux de chaleur naturel. De tels systèmes ne font appel à aucun régulateur, pompe, ventilateur, détecteur ou autre pièce mécanique. La simplicité des systèmes de chauffage solaire passifs les rend très fiables et permet une installation à prix modéré.

Pour réchauffer l'intérieur d'un édifice, les systèmes de chauffage solaire passifs des locaux captent, stockent et distribuent la chaleur par le biais des éléments de construction de l'édifice tels que les fenêtres et les murs. Dans ce type de système, les fenêtres exposées au Sud laissent pénétrer le rayonnement solaire dans l'édifice, ce qui a pour effet de réchauffer les surfaces intérieures. L'utilisation des surfaces foncées et texturées sert à augmenter le rythme de l'absorption thermique.

Afin d'augmenter la quantité d'énergie pouvant être stockée, l'on se sert souvent, dans la construction de murs capteurs - accumulateurs, de grands réservoirs d'eau ou de matériaux tels que la maçonnerie et le béton, qui présentent une bonne capacité thermique.

Les problèmes de surchauffe peuvent être éliminés par l'installation d'un store à isolation thermique qui bloque les rayons solaires non désirés, ou bien par d'autres systèmes de ventilations naturelles.

IV. 5 Systèmes de chauffage solaire actifs:

Les systèmes de chauffage solaire qui font circuler l'air chauffé au moyen d'un ventilateur ou des liquides chauffés à l'aide d'une pompe sont appelés systèmes de chauffage solaire actifs.

Un premier exemple de système de chauffage solaire actif des locaux en est un qui fait circuler l'air, à l'aide d'un ventilateur, des capteurs (où elle est chauffée par le soleil) vers un réservoir de stockage (constitué habituellement d'un accumulateur à pierres) jusqu'à ce qu'elle puisse être utilisée.

Un deuxième exemple de ce type de système en est un qui fait circuler l'eau ou une solution d'eau et d'antigel au moyen d'une pompe dans le capteur solaire puis dans les tuyaux qui sont enfouis dans un plancher de béton épais. Ainsi, le plancher joue effectivement le rôle d'un réservoir de stockage thermique : le béton réfléchit l'énergie thermique à la pièce même une fois que le soleil a cessé de briller sur le capteur.

IV.5.1 Système de chauffage solaire actif à eau /à air :

Les systèmes de chauffage solaire actifs utilisent un certain nombre de composants à haut rendement tels que pompes, ventilateurs, thermostats, vannes automatiques et autres dispositifs, ils requièrent en général un entretien plus important que les systèmes passifs et sont donc plus coûteux à installer que ces derniers. [38]

Le système de chauffage solaire montré dans les Figure (IV. 4) et Figure (IV. 5) représente la classe générale à boucle fermée ou ouverte des systèmes d'énergie solaire qui peuvent être utilisés pour une variété d'applications incluant le chauffage des espaces, le conditionnement d'air à absorption, chauffage d'eau et autres processus de chauffage.

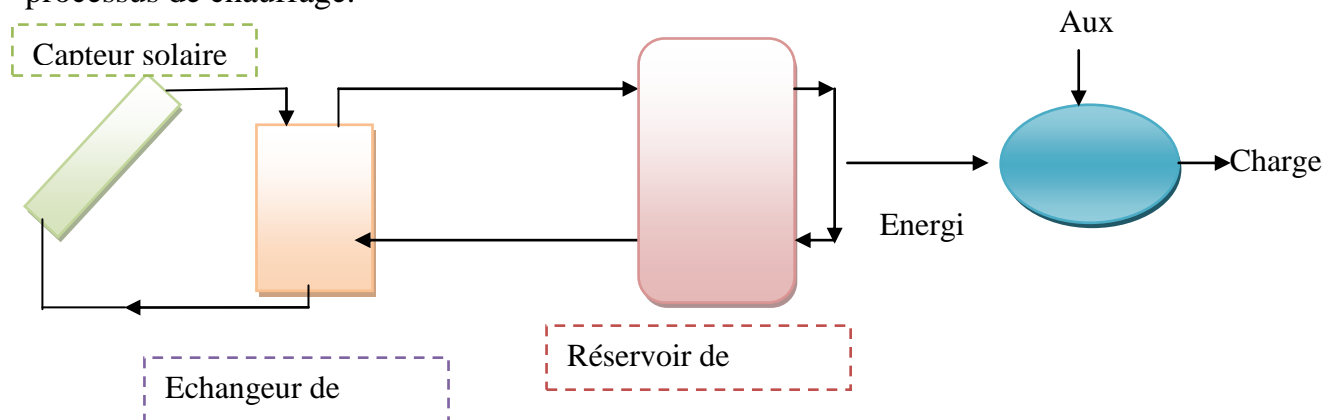


Figure IV. 4 : Système d'énergie solaire à eau en boucle fermée

L'énergie solaire est collectée et stockée sous forme de chaleur sensible dans un réservoir à liquide qui conserve l'eau chauffée jusqu'à ce qu'elle puisse être utilisée.

Le réservoir de stockage doit être pressurisé ou rempli avec un liquide ayant un haut point d'ébullition de façon que les pertes d'énergie ne puissent survenir à travers les organes de sécurité.

Quand c'est nécessaire le liquide chauffé est pompé du réservoir de stockage à travers un échangeur de chaleur pour alimenter en énergie thermique la charge, système à boucle fermée, ou bien le liquide est extrait du réservoir et remplacé par liquide froid, système à boucle ouverte.

La charge est la demande en énergie au dessus du minimum utile de température T_{\min} . La température minimale dépend du type d'application, pour le chauffage des espaces résidentiels T_{\min} est la température intérieure du bâtiment qui est de l'ordre de 20°C , toute énergie supérieure à 20°C peut être utilisée pour le chauffage du bâtiment. Il y a d'autres type d'applications de chauffage des espaces pour lesquelles la température T_{\min} peut être supérieure ou inférieure à 20°C à titre d'exemple chauffage d'un entrepôt qui doit être maintenu à une température de 10°C . T_{\min} est la principale température d'alimentation en eau.

Une énergie auxiliaire est prévue en appoint si l'énergie solaire est insuffisante pour satisfaire la demande (la charge). [38]

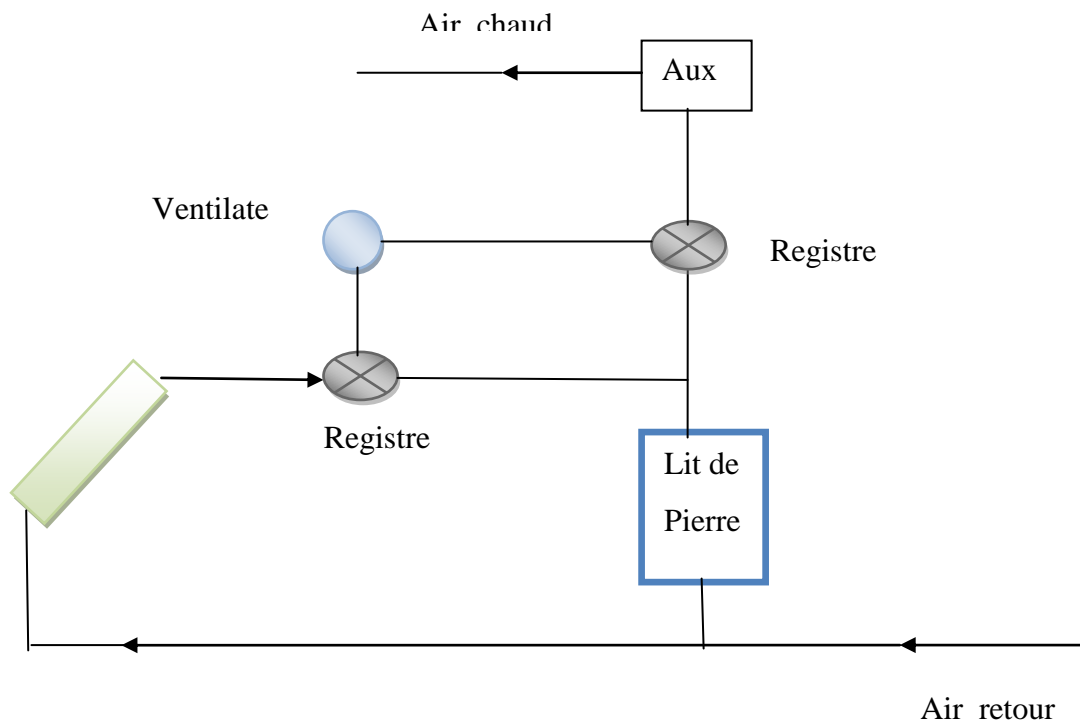


Figure IV. 5 : Système de chauffage solaire à air avec stockage à lit de pierre

La Figure (IV. 5) montre un système de chauffage solaire d'air utilisant un lit de pierres comme médium de stockage.

L'air est chauffé dans des capteurs solaires à air puis il est acheminé ou dirigé soit au bâtiment à chauffer ou bien vers le lit de pierre. L'énergie est stockée sous forme de chaleur sensible en chauffant le lit de pierre par circulation d'air à travers celui-ci.

IV. 6 Système de Capteurs solaires:

IV.6.1 Installation des Capteurs solaires:

Les capteurs solaires peuvent être installés au sol, contre le côté d'un édifice ou sur la toiture.

Idéalement, ils devraient être orientés vers le Sud, à l'écart des zones ombragées, et devraient présenter un angle d'inclinaison qui permette que la surface du capteur soit exposée au maximum de lumière solaire.

Le calcul de l'angle d'inclinaison se fait en soustrayant la déclinaison du soleil de la latitude géographique de l'emplacement du système de chauffage solaire. En général, il s'agit de la latitude de l'emplacement plus ou moins 10 à 15 degrés. En hiver, lorsque la trajectoire du soleil est basse dans le ciel, il faut employer un angle d'inclinaison plus élevé (la latitude plus 10 à 15 degrés). Par contre, il est recommandé d'employer un angle d'inclinaison moins élevé (la latitude moins 10 à 15 degrés) durant les mois d'été lorsque le soleil est plus haut dans le ciel. [37]

IV.6.2 Protection contre le gel :

Les chauffe-eau solaires conçus pour utilisation par temps froid doivent être protégés contre le gel.

Dans une première méthode de prévention du gel, l'eau qui se trouve dans le circuit du capteur est évacuée automatiquement dans un réservoir au moment où la pompe s'arrête où que la température de l'eau dans la boucle chute en deçà d'un seuil de température déterminé à l'avance. Ce système s'appelle système à vidange autonome.

Une deuxième méthode de protection, le transfert de la chaleur du capteur au réservoir de stockage est effectué à l'aide d'un antigel non toxique spécial par l'intermédiaire d'un échangeur thermique.

Les systèmes de chauffage solaires saisonniers, c'est-à-dire ceux qui sont destinés à ne servir qu'au printemps, en été et à l'automne, sont habituellement protégés du gel par des soupapes de retenue à bille ou des soupapes manuelles qui permettent l'évacuation et le drainage de l'eau qui se trouve dans le circuit du capteur en temps de gel.

IV. 7 Système de stockage :

Le stockage permet de préserver la chaleur en périodes ensoleillées ou la production de chaleur est supérieure à la demande afin de la restituer pendant les périodes de froid (temps couvert).

La conception des cuves de stockage d'eau est optimisée, de diverses manières : très haut degrés de stratification, diminution des pertes de chaleur du réservoir et augmentation de l'efficacité globale du système capteur-stockeur.

L'isolation joue un rôle très important dans les applications thermique de l'énergie solaire, non seulement au niveau des absorbeurs, mais aussi pour calorifuger les tuyauteries chargées de véhiculer la chaleur le ballon de stockage et la maison elle-même.

Un autre moyen adopté pour l'accroissement de la capacité de stockage de la chaleur dans une construction est d'intégrer un matériau à changement de phase. Un exemple est l'ajout de la paraffine dans les panneaux qui augmente de façon spectaculaire leurs capacités thermiques.

Le stockage de l'énergie ne pas seulement joue un rôle important dans la conservation de l'énergie, mais aussi améliore les performances et la fiabilité d'une large gamme de systèmes d'énergie. Il peut être utilisée dans des endroits où il ya une variation dans l'énergie solaire ou dans des zones où il ya une grande différence de température entre le jour et la nuit. [39]

Le stockage de la chaleur se pose dès qu'il faut adapter la production à la consommation. [40]

La variabilité de l'énergie solaire implique cette adaptation ou bien le recours à l'utilisation de source d'énergie d'appoint.

Plusieurs méthodes de stockage de chaleur existent : [40]

IV.7.1 Le stockage sous forme de chaleur de latente :

Ce mode de stockage est obtenu en provoquant un changement de phase généralement la transition solide liquide, les échanges thermiques se font à la température de fusion du matériau et les quantités de chaleur mises en jeu sont

assez élevées, le rendement est assez élevé puisque l'introduction et l'extraction de la chaleur se font pratiquement à la même température.

Ce mode malgré intéressant n'a pas trouvé d'application pratique du fait des nombreux problèmes rencontrés, tel que le choix du corps fusible en fonction du niveau thermique désiré (température de fusion) est délicat, de plus la variation du volume, la corrosion, la toxicité et le prix de revient doivent être faible de même la stabilité des propriétés physique des matériaux doit se conserver au cours de nombreux cycles successif.

Quelques exemples de stockage de chaleur latente :

- Des matériaux à changement de phase (MCP) sont actuellement étudiés pour améliorer l'inertie thermique des parois des bâtiments.
- Les pompes à chaleur, notamment les réfrigérateurs, congélateurs et climatiseurs, utilisent des fluides changeant de phase comme caloporteurs. Ceux-ci ne stockent pas à proprement parler de chaleur, l'emmagasinant uniquement le temps du transport. [39]

IV.7.2 Le stockage sous forme de chaleur de sensible :

Ce mode est obtenu en chauffant un corps et on le refroidit pour récupérer sa chaleur en cas de besoin. Pour réduire la capacité de stockage, le matériau utilisé doit avoir une capacité thermique et une masse volumique élevées ainsi qu'une bonne conductivité thermique.

Le stockage de la chaleur sous forme sensible dans des sols rocheux est une des solutions donnant des résultats convenables et une efficacité satisfaisante.

Ce type de stockage n'est limité que par la différence de température disponible, les déperditions thermiques du stockage (liée à son isolation thermique) et l'éventuel changement d'état que peut être amené à subir le matériau de stockage (fusion ou vaporisation).

Quelques exemples de stockage de chaleur sensible :

- Dans les systèmes de chauffage domestiques, on utilise parfois la grande inertie thermique de certains matériaux (briques, huile) pour restituer lentement la chaleur accumulée au cours de périodes où la chaleur a été produite ou captée. Mais le plus souvent, le stockage est assuré par un ballon d'eau chaude isolé.
- Dans les fours à feu de bois, en brique et terre réfractaire, la capacité de la voûte du four à emmagasiner la chaleur est utilisée pour la cuisson d'objets (poterie, émaux, etc.) ou de plats (pain, pizza, etc.).
- Stockage de l'énergie excédentaire produite par les centrales solaires le jour, afin d'être utilisée le soir et la nuit (exemple : chauffage urbain de la ville de Krems sur le Danube). [39]

IV.7.4 Stockage journalier et stockage saisonnier :

Dans le stockage saisonnier l'énergie solaire est stockée durant l'été pour être utilisée en hiver, cette pratique est utilisée dans les applications domestiques particulièrement pour le chauffage des espaces. Dans certaines applications où la demande en énergie est plus ou moins uniforme à travers toute l'année le stockage saisonnier n'est pas adapté ceci est particulièrement vrai dans les applications de conditionnement d'air pour les applications commerciales et domestiques parce que la charge est maximale quand les radiations solaires sont maximales aussi et vice versa, ce type de stockage saisonnier ne donne pas pour ces applications des propositions économiques.

Par stockage journalier on entend tout système ayant un stockage de capacité équivalente pour satisfaire pour quelques jours la charge en chauffage c'est-à-dire juste assez pour compenser de jour en jour les fluctuations climatiques.

Le stockage de chaleur sous forme sensible est le moyen largement utilisé dans les installations pratiques.

Pour le choix du médium de stockage tout dépend du type du système thermique solaire utilisé qui en fonctionnement est influencé par la nature du processus. Ainsi pour la charge de chaleur sensible par eau chaude l'eau est un choix évident,

cependant pour les charges en air chaud le stockage peut être par eau dans le cas de système thermique solaire basé sur l'eau (liquide) ou par lit de pierre dans le cas de système thermique solaire basé sur l'air.

IV. 8 Système de distribution :

Ce système assure la distribution de la chaleur vers le bâtiment (espace à chauffer), le système de distribution du chauffage solaire est identique à celui des systèmes conventionnels. [41]

Il s'agit soit d'un système de distribution d'air ou de système à boucle d'eau (chauffage hydraulique).

Pour les systèmes de chauffage solaire utilisant l'air, la fourniture de la chaleur par réseau de gaine est un choix évident. L'eau et la pierre sont souvent utilisées dans les applications basse température.

IV. 9 Quelques caractéristiques climatiques du site de Tlemcen :

IV. 9. 1 L'humidité relative :

L'humidité atmosphérique joue un rôle primordial dans le confort du bâtiment, à des températures de l'air élevées, conjuguées à une humidité excessive, il y a un inconfort qui est ressenti par les occupants. La ville de Tlemcen est caractérisée par une humidité relative modérée, qui en général, ne crée pas d'inconfort.

En étudiant la variation annuelle de l'humidité relative, nous notons que le maximum est observé au cours des mois de janvier et décembre, avec une légère décroissance de janvier à mars, ainsi qu'un minimum durant le mois de juillet.

Comme le montre la figure IV. 6, la valeur annuelle moyenne de l'humidité relative pour le site de Tlemcen est de 66%. [42]

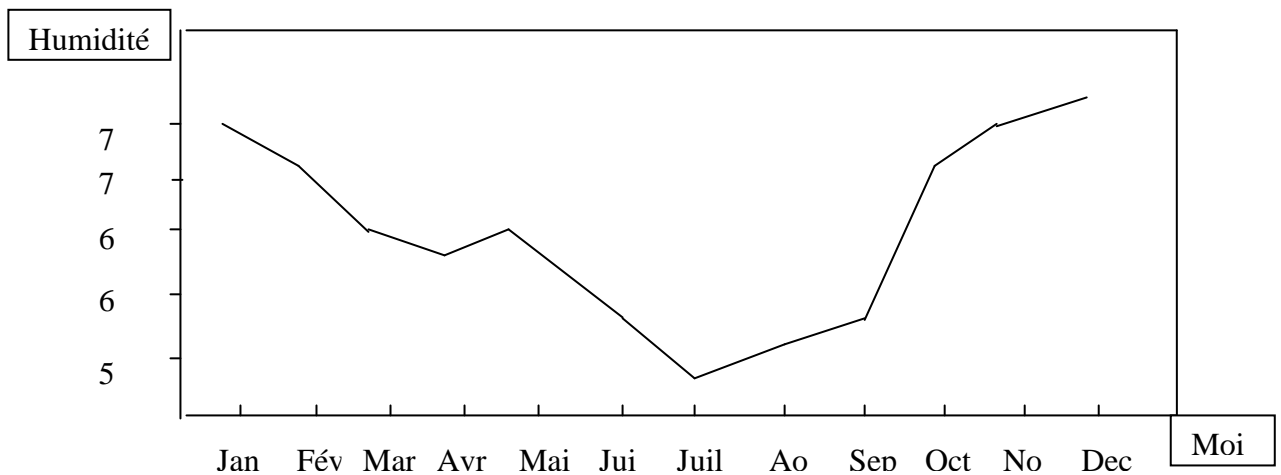


Figure IV. 6: Variation mensuelle de l'humidité relative (%) du site de Tlemcen [42]

IV. 9. 2 Vitesse de l'air :

La vitesse de l'air à l'intérieur de la maison est relativement faible, allant de 0 à 0,5 m/s, à moins qu'il y ait une ventilation naturelle ou forcée.

L'instrument le plus généralement utilisé est l'anémomètre thermique, pour la mesure de la vitesse de l'air. [42]

IV. 9. 3 Adaptation de la ressource aux besoins :

Le fait qu'on ait le plus besoin de soleil au moment où il est le moins disponible constitue évidemment le principal handicap du chauffage solaire. La figure IV .8 illustre parfaitement le déphasage entre ressources et besoins. [42]

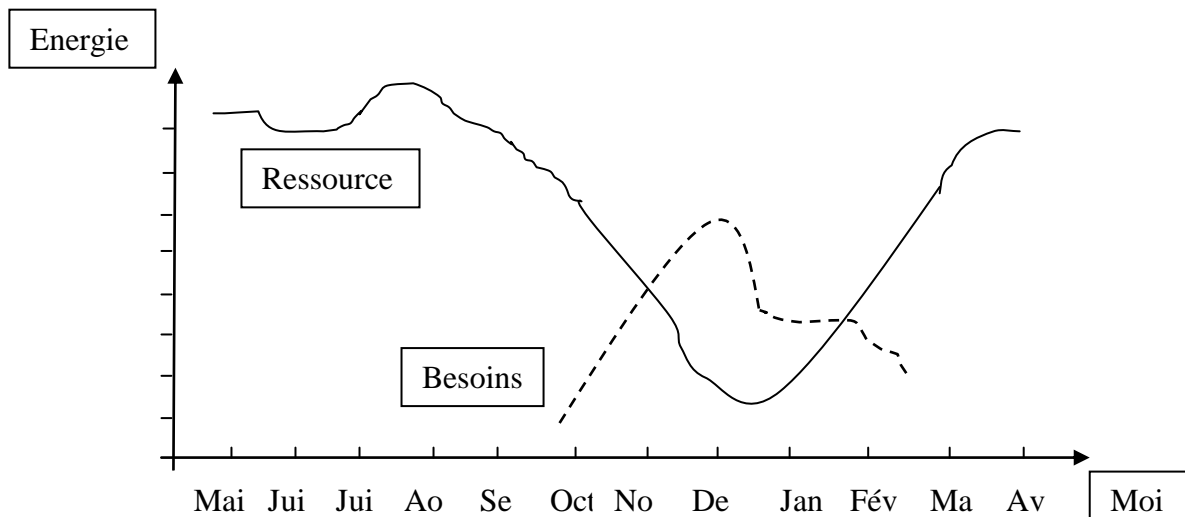


Figure IV. 7 : Déphasage entre ressources et besoins pour le site de Tlemcen [42]

Si l'on pouvait stocker une fraction de l'énergie estivale disponible jusqu'à son utilisation en hiver, les besoins en chauffage non solaire pourraient être énormément réduits ou bien même supprimés.

En équipant une telle maison de capteurs solaires, d'importantes économies seront réalisées. En absence du stockage, la puissance installée restera la même, à tous moment, à la demande maximale représentée par la somme de toutes les puissances du pays. [42]

IV. 9. 4 La bâtisse à chauffer :

Sur le plan architectural, la salle est conçue de la manière suivante :

- ✚ S_h : Surface habitable de $35m^2$. (longueur 7m, largeur 5m et la hauteur 2.5m)

- ✚ Volume, $V_h= 87.5m^3$

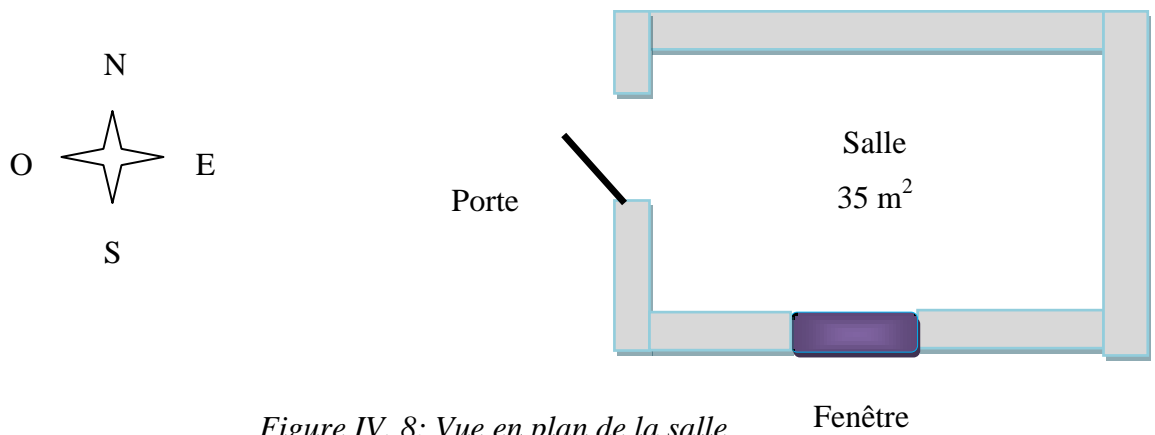


Figure IV. 8: Vue en plan de la salle

IV.10 Description de l'installation étudiée :

Le model étudié est divisé en deux sous systèmes à savoir :

- ❖ Sous système solaire (captage et stockage).
- ❖ Sous système de distribution (eau chaude sanitaire et le chauffage).

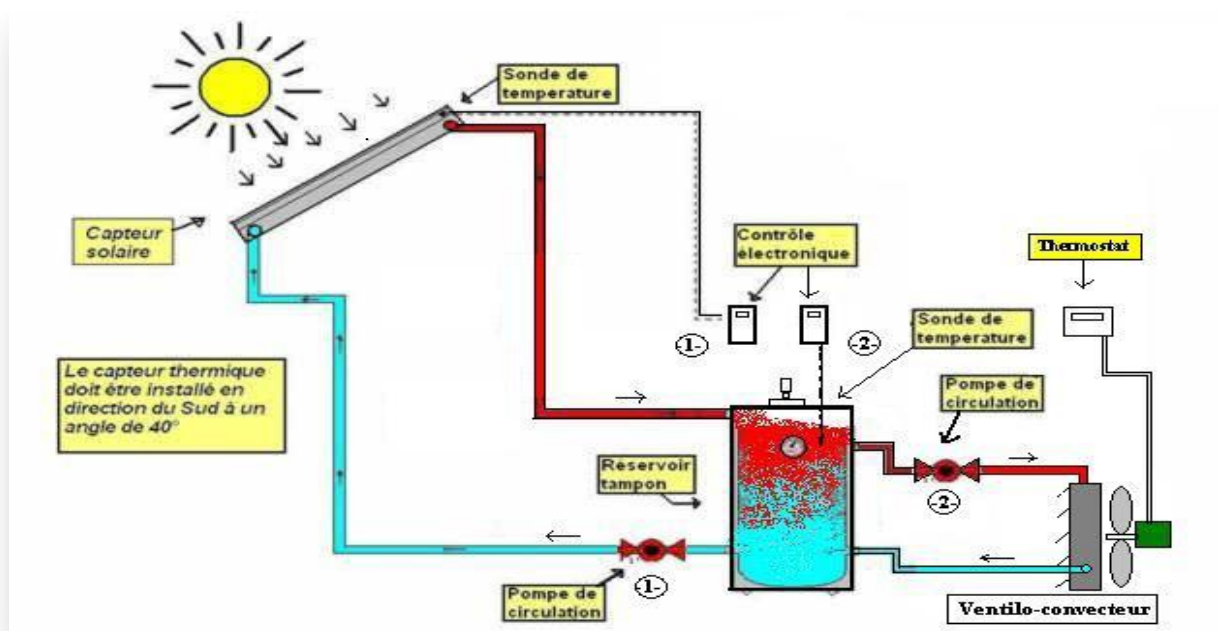


Figure IV. 9 : Structure du système de chauffage global et les sous systèmes

IV. 10. 1 Principe de fonctionnement

IV. 10. 1. 1 Système solaire :

La boucle solaire est constituée :

- D'un système de captage (capteurs solaires).
- D'un système de circulation.
- Un système de régulation.
- D'un réservoir de stockage.

Les capteurs solaires et le réservoir de stockage sont reliés entre eux par une tuyauterie calorifugée qui assure la circulation du liquide primaire, le fluide caloporteur (eau glycol) est mis en circulation entre le captage et le stockage par une pompe.

IV. 10. 1. 1. 1 Différents organes de sous système solaire :

a) Les capteurs solaires :

Les capteurs solaires captent l'énergie solaire et la transforment en énergie thermique qui est transmise au fluide caloporteur (eau glycol), cette énergie thermique est stockée sous forme de chaleur sensible dans un réservoir jusqu'à ce qu'elle puisse être utilisée.

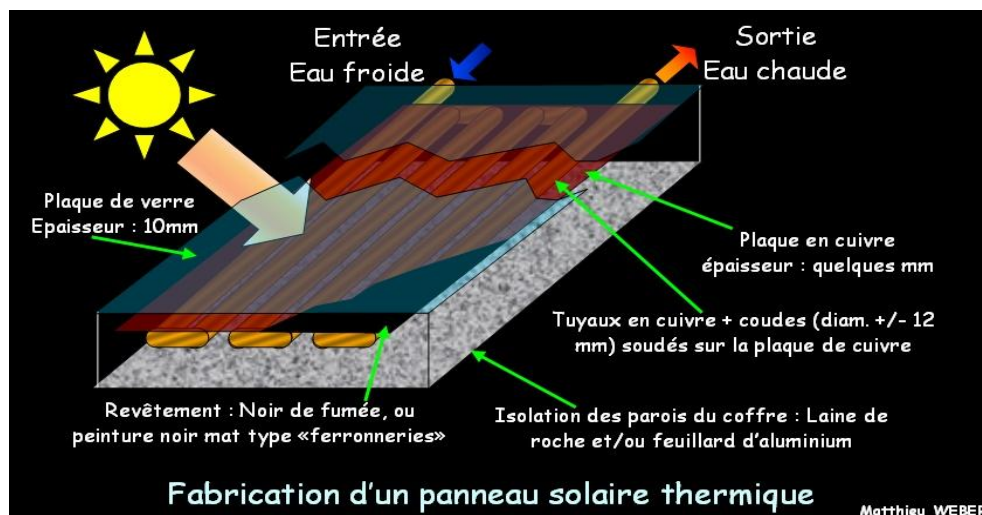


Figure IV. 10: Capteur solaire plan à eau vitrée.

b) Le ballon de stockage :

C'est une cuve métallique bien isolée constitue la réserve d'eau chaude, cette eau chaude soutirée est remplacée immédiatement par la même quantité d'eau froide du réseau.

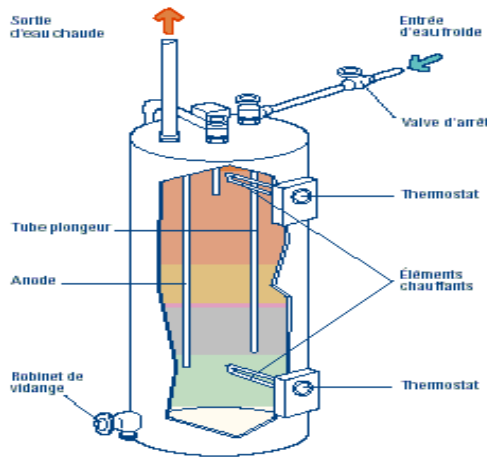


Figure IV.11 : Réservoir de stockage d'eau chaude

La différence de masse volumique entre l'eau chaude et l'eau froide conduit à l'établissement d'un gradient de température dans un ballon de stockage d'eau chaude, la température de l'eau est plus élevée en haut qu'en bas du ballon.

c) Le système de régulation :

La régulation du transfert de chaleur vers le réservoir (s'arrête quand $T_{\text{capteur}} < T_{\text{réservoir}}$), la régulation compare à tout moment la température du capteur et celle de la partie basse du ballon. Alors si l'eau dans le ballon est plus chaude, la régulation arrête le fonctionnement du circulateur. A l'inverse quand le fluide caloporteur est plus chaud que l'eau qui se trouve au ballon le circulateur est automatiquement remis en route et le liquide primaire transmet sa chaleur à l'eau chaude du ballon.

d) La pompe (le circulateur) :

Une pompe électrique met en mouvement le liquide primaire, son rôle de la pompe de circulation est de permettre un transfert plus rapide des calories captées par l'absorbeur vers le ballon de stockage. Son utilisation permet aussi d'interrompre le transfert de chaleur lorsque l'eau des capteurs n'est pas plus chaude que celle dans le réservoir.

La pompe utilisée fonctionne à 230V, elle a une hauteur maximum de pompage d'environ 35m, un tuyau d'aspiration et un tuyau de refoulement et un tuyau de rinçage avec un filtre.

e) Dispositif de chauffage d'appoint :

L'appoint est indispensable pour assurer la permanence du service d'eau chaude en hiver, en demi-saison ou par longue période de mauvais temps.

L'appoint utilisé à l'installation est une résistance électrique placée au tiers supérieur du ballon solaire.

Sur autres modèles, l'appoint se fait par une chaudière (gaz, fioul..) disposée en aval du ballon de stockage.

IV. 10. 1. 2 Système de distribution :

Ce système assure la distribution de la chaleur vers l'espace à chauffer grâce à un ventilo-convecteur, ce dernier assure le chauffage par la ventilation d'air chaud à l'intérieur de la salle.

IV. 10. 2 Bilans énergétiques :

IV. 10. 2. 1 Sous Système de captage solaire :

L'énergie utile Q_u délivrer par un capteur solaire plan de surface A_C (on négligeant les effets transitoires) est donnée par l'équation [W]:

$$Q_u = A_C [I_c \eta_0 - U_*(T_{pm} - T_a)] \quad (IV.1)$$

Avec :

η_0 : Efficacité optique du capteur, c'est le produit de la transparence du couvert (vitrage) par l'absorptance de l'absorbeur. (Rendement optique)

IV. 11. 2. 2 Sous Système de stockage :

La chaleur stocker dans le réservoir est donnée par la relation suivante :

$$q_r = M_r C_r \frac{dT_r}{dt} = m_f (T_{2f} - T_{1f}) - Q_R - Q_U \quad (IV.2)$$

Ou Q_r est la chaleur du réservoir

$$Q_r = A_r h (T_r - T_a) \quad (IV.3)$$

Et Q_u est la chaleur utilisée

$$Q_u = m_u C (T_u - T_{ap}) \quad (IV.4)$$

Chapitre V

Simulation, interprétations
des résultats et discussions

V. 1 Introduction :

Un modèle TRNSYS a donc été développé pour étudier la configuration d'un système solaire combiné. Le présent chapitre comprend une description de ce modèle et de l'algorithme d'optimisation utilisé, ainsi qu'une présentation des résultats obtenus

V. 2 Développement du modèle TRNSYS :

Le logiciel TRNSYS (TRaNsient SYstem Simulator) est un outil de simulation modulaire ayant d'abord été développé pour modéliser les procédés solaires thermiques. La portée du logiciel s'est élargie avec les années, et la version 16 utilisée dans ce mémoire permet notamment la modélisation d'un système solaire thermique, de systèmes de cogénération et bien plus encore.

Un modèle TRNSYS comporte généralement plusieurs modules appelés « *Types* ». Chaque *Type* représente un élément tel qu'un capteur solaire, un réservoir de stockage, une chaudière, etc.

Il existe une multitude de *Types* disponibles dans les bibliothèques de TRNSYS16, l'utilisateur a également la possibilité de développer ses propres composants. Un *Type* comporte généralement des entrées, des sorties et des paramètres que l'utilisateur peut modifier. Ils échangent de l'information entre eux; les sorties d'un *Type* deviennent ainsi les entrées d'un autre. Plusieurs modules ainsi reliés forment un système dont il est possible d'étudier le comportement transitoire grâce à TRNSYS16. Le calcul de la valeur de chaque entrée et sortie des modules d'un système est calculée à intervalles réguliers. Le pas de temps utilisé pour une simulation donnée est spécifié par l'utilisateur. Pour plus d'information sur le fonctionnement du logiciel TRNSYS, le lecteur est invité à consulter le manuel de la version 16 de TRNSYS.

V. 3 Simulation :

Dans le but de simuler le comportement du système, chacun de ces composants (sous système) devra avoir toutes ces caractéristiques définies et spécifiés.

Différents types de capteurs solaires et le système de distribution ont des caractéristiques qui diffèrent pour cela la spécification du type de composants et leurs caractéristiques spécifiques doit être établie pour chaque partie du système de chauffage.

Chaque composant doit être choisi pour assurer les besoins nécessaires du système de chauffage.

V. 3.1 Hypothèses et simplifications :

Dans le but de simplifier l'analyse thermique du système, on considère les hypothèses simplificatrices suivantes :

- ✓ Le débit dans la boucle solaire est constant.
- ✓ La température de départ du fluide caloporteur (eau glycole) est égale à température ambiante de l'air.
- ✓ La température maximale du fluide caloporteur dans le réservoir de stockage $T_{s_max} = 69^{\circ}\text{C}$.
- ✓ Les tuyauteries entre les capteurs et le réservoir de stockage ainsi que celle entre le système de stockage et le système de distribution sont parfaitement isolés, donc les pertes thermiques sont négligeables.

► CAPTEUR

- ★ Type capteur plan vitré.
- ★ Surface brut : 2 m².

Paramètres de performances :

- ★ Les variations de l'efficacité optique des capteurs avec l'angle d'incidence négligeable.

► SYSTEME DE DISTRIBUTION

- ❖ La température de départ du circuit de chauffage est : $T_C \text{ départ} = 70^{\circ}\text{C}$

► REGULATION DU SYSTEME

- La circulation du fluide dans les capteurs s'établit quand $T_{\text{capteur}} > T_{\text{Stockage}}$
- Les pompes de circulations sont arrêtées quand $T_{\text{capteur}} < T_{\text{Stockage}}$

V. 4 Caractéristiques des composants utilisés par TRNSYS :

V. 4. 1 Installation solaire combiné sur le TRNSYS :

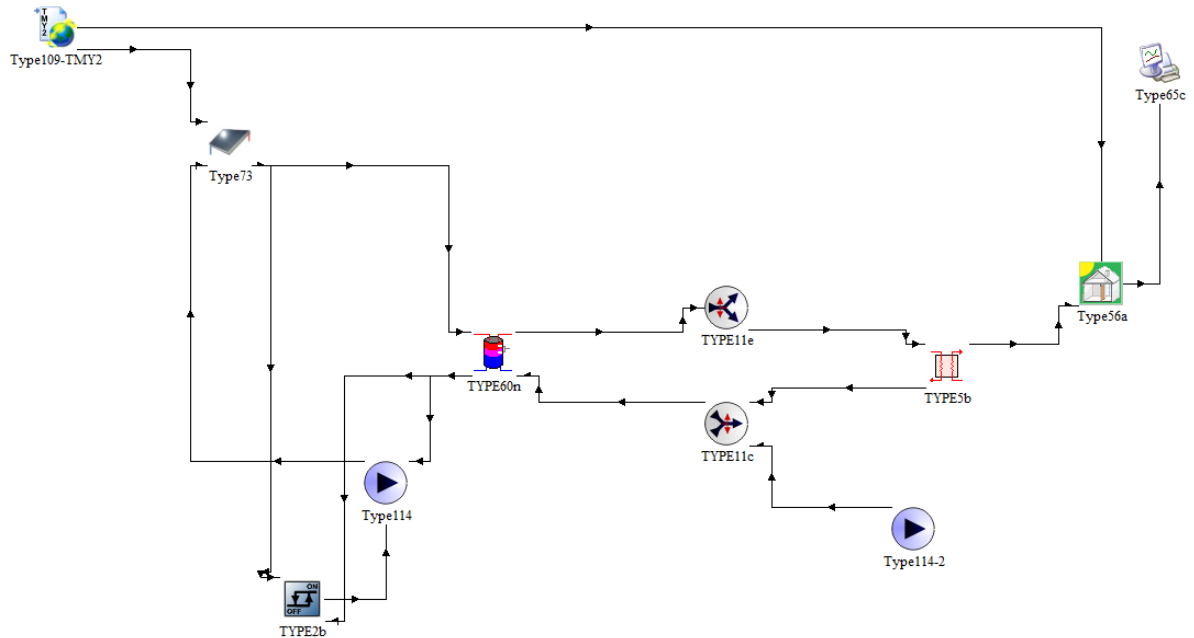


Figure V. 1: L'installation étudiée sur le TRNSYS16

V. 4. 2 Le capteur solaire plan : type73

On a utilisé un capteur thermique vitrés, ce capteur a une surface optique de 2m^2 , il comprend un absorbeur 100% cuivre : tôles planes en cuivre soudées sur un serpentín de tubes lui aussi en cuivre.

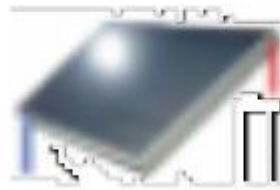


Figure V. 2 : Capteur solaire thermique vitré type73

V. 4. 3 le ballon de stockage :

Ce ballon est destiné à la fois au chauffage des maisons et pour la production d'eau chaude sanitaire. Sa capacité est de 350 litres. Il est équipé de deux échangeurs :

- Un échangeur solaire pour l'optimisation des échanges thermiques.

- Un échangeur thermique à alimenter par un appoint (résistance électrique de 4.5 kW).



Figure V. 3 : Ballon de stockage d'eau chaude type60n

V. 4. 4 l'échangeur de chaleur:

C'est un échangeur contre courant le coté chaud on a utilisé l'eau chaude qui vient de ballon de stockage, le coté froid on a introduit l'air ambiant qui rentre à la salle par ventilation, l'air rentre chaud après le changement des calories qui se fait au niveau de l'échangeur.

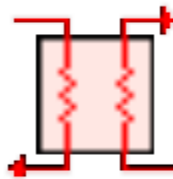


Figure V. 4: Echangeur de chaleur type5b

Pour tous les modes, étant donné les températures chaudes et froides d'entrée latérales et des débits, l'efficacité est calculée pour une valeur donnée fixe du coefficient de transfert thermique global.

Description mathématique :

L'échangeur de chaleur Type 5 repose sur une approche de capacité et efficacité minimum pour la modélisation. Dans cette hypothèse, l'utilisateur est invité à fournir UA l'échangeur de chaleur et les conditions d'admission.

Le modèle détermine ensuite si le froid (charge) ou à chaud (source) le bon côté de capacité minimale et calcule une efficacité fondée sur la configuration du flux spécifié et sur l'UA.

Les conditions de sortie d'échangeur de chaleur sont ensuite calculées, en utilisant l'équation. V.1 et Eq. V.2.

$$T_{sc} = T_{ec} - \varepsilon \left(\frac{C_{min}}{C_c} \right) (T_{ec} - T_{ef}) \quad V.1$$

$$Q_T = \varepsilon C_{min} (T_{ec} - T_{ef}) \quad V.2$$

La capacité de chaque côté de l'échangeur de chaleur est calculée selon l'une des quatre équations suivantes :

$$C_c = (mC_p)_c \quad V.3$$

$$C_f = (mC_p)_f \quad V.4$$

C_{max} = valeur maximale de C_f et C_c

C_{min} = valeur minimale de C_f et C_c

Ce qui suit indique l'expression utilisée pour calculer l'efficacité échangeur de chaleur à chaque pas de temps selon la configuration d'échangeur de chaleur utilisée (contre courant).

$$\varepsilon = \frac{1 - \exp \left[-\frac{UA}{C_{min}} \left(1 - \frac{C_{min}}{C_{max}} \right) \right]}{1 - \left(\frac{C_{min}}{C_{max}} \right) \exp \left[-\frac{UA}{C_{min}} \left(1 - \frac{C_{min}}{C_{max}} \right) \right]} \quad V.4$$

V. 4. 5 Structure multi-zone :

Pour ce type on doit changer les paramètre de construction de cette structure, alors le choix des chouches des murs, plancher et la toiture utilisé influence sur la température de confort.



Figure V. 5: Structure multi-zone type56a

V. 5 Les étapes de simulation de TRNSYS:

Les données utilisées sont les conditions climatiques d'un habitat se trouvant dans le site de Tlemcen. On utilise le logiciel « méteonorme » pour caractériser notre site (l'humidité la température ambiante, le flux diffus...ect) de chaque mois.

1. Les données techniques du capteur :

- Sa surface 2m^2
- Le type de vitrage : simple vitrage.
- L'inclinaison du capteur : 40°
- L'irradiation reçue de chaque mois et La température moyenne de chaque mois. Donnée directement par méteonorme

MOIS	Température
	°C
Janvier	10
Février	9,62
Mars	12.23
Avril	16
Octobre	20
Novembre	13.58
Décembre	10.62

Tableau (V-1): Les températures d'extérieures pour la période de chauffe pour le site de Tlemcen

2. Les données techniques du réservoir de stockage :

- Son volume : 350 litres
- Température maximal du fluide solaire à l'intérieur du ballon (suivant le mois considérer).
- Température maximal de l'eau chaude = 70°C .
- Le type du chauffage d'appoint : électrique
- Sa hauteur = 1.25 m.

- Le diamètre du tube où circule le fluide antigel (Diamètre intérieur de l'échangeur de chaleur $d_{\text{int}} = 0.01\text{m}$, Diamètre extérieur de l'échangeur $d_{\text{ext}} = 0.012\text{m}$).
 - Coefficient de perte de réservoir = $0.05 \text{ W/m}^2.\text{K}$
 - La température d'ébullition = 100° .
 - La conductivité thermique du fluide = 0.023 W/m.K
3. Les données techniques de l'échangeur utilisé pour le chauffage de la salle :
- Le choix du côté chaud (on a choisit l'eau chaude venue du ballon), et du côté froid (l'air est choisit).
 - Son coefficient de transfert thermique
 - Son type (contre courant).
 - Les températures d'entrée de chaque fluide (69°C pour l'eau chaude)
4. Les données techniques des pompes utilisées :
- Le débit de l'eau chaude constant $100\text{m}^3/\text{s}$
 - La température d'entrée d'eau chaude 69°C

V. 6. Calcule des déperditions totales de l'habitable :

Il faut connaitre les constituants du mur pour le calcule des déperditions

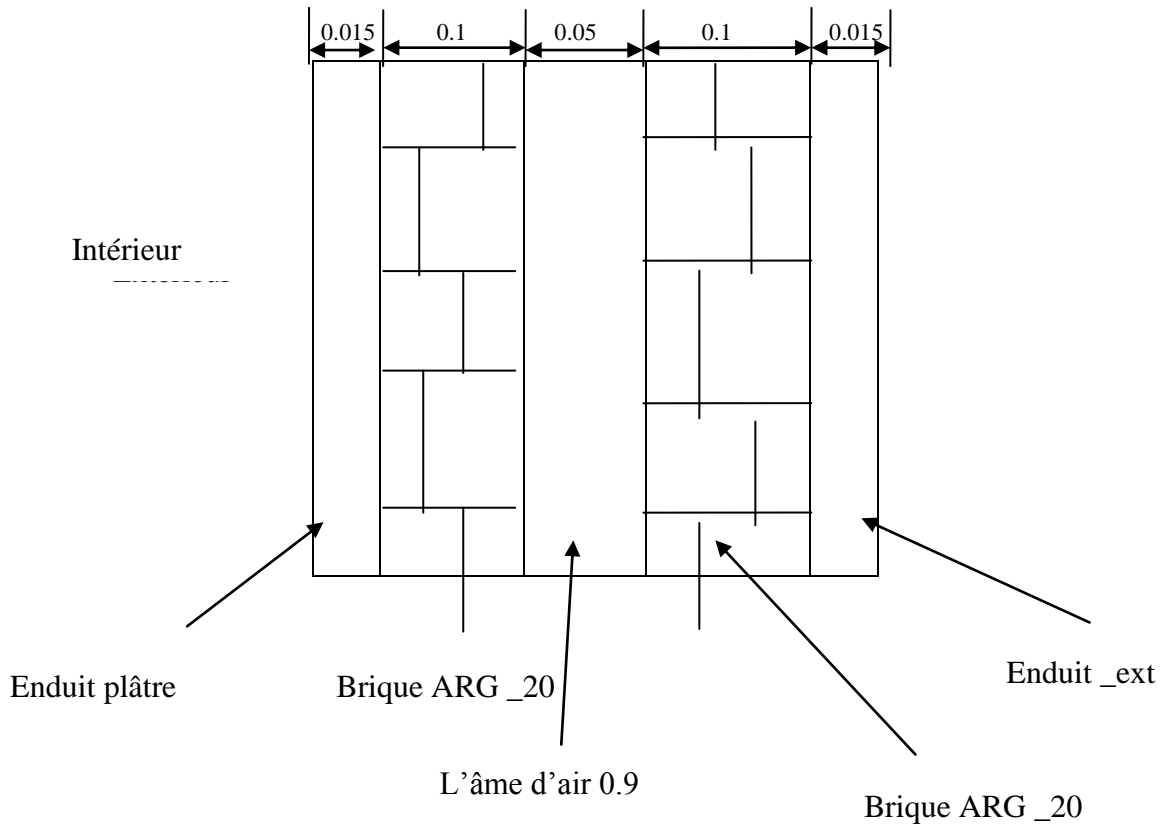


Figure V. 6 : Constituant de mur

- Enduit plâtre $\left\{ \begin{array}{l} E_1 = 0.015\text{ m} \\ \lambda_1 = 1.26\text{ (W/m.K)} \end{array} \right.$
- Brique ARG_20 $\left\{ \begin{array}{l} E_2 = 0.1\text{ m} \\ \lambda_2 = 1.23\text{ (W/m.K)} \end{array} \right.$
- L'âme d'air 0.9 $\left\{ \begin{array}{l} E_3 = 0.05\text{ m} \\ \lambda_3 = 0.22\text{ (W/m.K)} \end{array} \right.$
- Brique CR_50 $\left\{ \begin{array}{l} E_4 = 0.1\text{ m} \\ \lambda_4 = 1.60\text{ (W/m.K)} \end{array} \right.$
- Enduit_extérieur : $\left\{ \begin{array}{l} E_5 = 0.015\text{ m} \\ \lambda_5 = 4.15\text{ (W/m.K)} \end{array} \right.$

parois	constituit ion	Epaisseur en m	Surface total en m ²	K (W/m ² . °C)
Toiture	Dalle armée en béton	0.19	35	2.63
plancher	Sol sur terre plein	0.19	35	2.57
Mur mixte	2 paroi en (Brique ARG_20 et Brique CR 0.9) séparer par l'âme d'air de 0.05 m enduit intérieur en plâtré et extérieur de 0.015m	0.28	-	0.64
Fenêtre avec simple vitrage	-	-	2	8.17
Porte avec fenêtre simple vitrage	-	-	2.5	8.17

Tableau (V-2) : Les caractéristiques des parois et les toitures

V. 6.1 La déperdition volumique de la salle:

La relation suivante indique la déperdition volumique qui est nommé par G.

$$G = \frac{\sum K_i S_i}{V_h} + C_v V_h \quad \text{V. 6}$$

Le G en W/m³°C

On a V_h = 87.5m³

▪ Face Sud :

Surface 17.5m² avec la fenêtre

La surface nette du mur (sans fenêtre)

$$S_{\text{nette}} = S_{\text{brut}} - S_f = 17.5 - 2 = 15.5\text{m}^2$$

$$\begin{aligned} \sum K_i S_i &= K_{\text{mur}} S_{\text{mur}} + K_f S_f \\ &= 0,64 * 15,5 + 8,17 * 2 \\ &= 26,26\text{W}/^\circ\text{C} \end{aligned}$$

▪ Face Nord :

Surface nette 17,5m²

$$\begin{aligned}\sum K_i S_i &= K_{mur} S_{mur} \\ &= 0,64 * 17,5 \\ &= 11,2 \text{W/}^\circ\text{C}\end{aligned}$$

- Face Ouest :

Surface brut 12,5m² avec porte.

Surface nette sans porte

$$S_{nette} = S_{brut} - S_p = 12,5 - 2,5 = 10\text{m}^2$$

$$\begin{aligned}\sum K_i S_i &= K_{mur} S_{mur} + K_p S_p \\ &= 0,64 * 10 + 8,17 * 2,5 = 26.82 \text{W/}^\circ\text{C}\end{aligned}$$

- Face Est :

Surface brut 12,5m²

$$\begin{aligned}\sum K_i S_i &= K_{mur} S_{mur} \\ &= 0.64 * 12,5 \\ &= 8 \text{W/}^\circ\text{C}\end{aligned}$$

- Plancher :

Surface nette 35m²

$$\begin{aligned}\sum K_i S_i &= K_{plancher} S_{plancher} \\ &= 2,57 * 35 \\ &= 89,85 \text{W/}^\circ\text{C}\end{aligned}$$

- Toiture :

Surface nette 35m²

$$\begin{aligned}\sum K_i S_i &= K_{toiture} S_{toiture} \\ &= 2,63 * 35 \\ &= 92,05 \text{W/}^\circ\text{C}\end{aligned}$$

La déperdition de chaque face et la déperdition totale de la salle sont données dans ce tableau :

Avec :

$$D = K_{face} \cdot S_{face} \cdot \Delta T_{mois} \quad \text{V. 7}$$

Mois	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR
D (W)							
SUD	105,04	273,62	351,35	367,64	377,61	309,08	210,08
NORD	44,8	116,70	149,85	156,8	161,05	131,82	89,6
EST	32	83,36	107,04	112	115,04	94,16	64
OUEST	107,28	279,46	358,85	375,48	385,67	315,67	214,56
D_{tot}	289,12	723,14	964,09	1011,92	1039,37	850,73	578,24
ΔT	4	10,42	13,38	14	14,38	11,77	8

Tableau (V-3): Les déperditions de chaque face et la déperdition totale

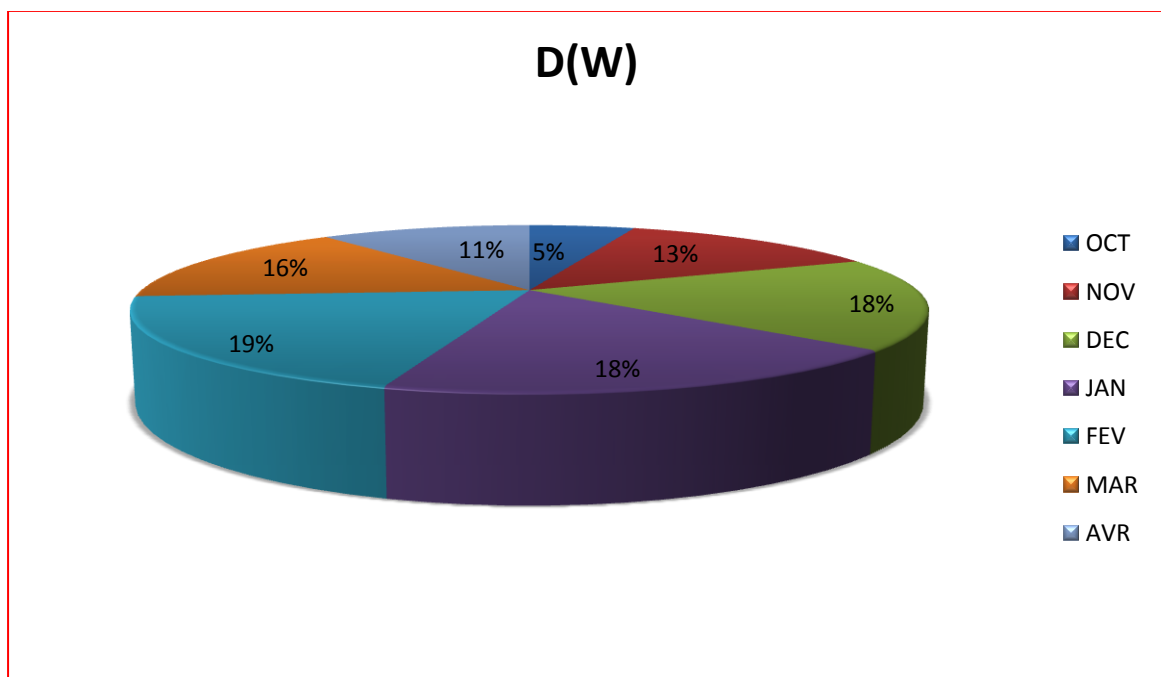


Figure V. 7: Secteur de déperdition totale de chaque mois de la saison de chauffe

La déperdition maximale atteinte est donnée pour le mois de Février, elle a une valeur de 1.03 kW (19% sur le schéma). On constate que les déperditions ont un sens croissant en passant de mois d'Octobre (0.289 kW) jusqu'à Février ; à partir de ce dernier, elles vont prendre un sens décroissant jusqu'au mois d'Avril (0.578 kW pour ce mois).

On néglige les déperditions par renouvellement d'air.

★ Calcule de G

$$G = \frac{\sum K_i S_i}{V_h} + \rho_v V_h$$

$$= \frac{\sum(K_i S_i)_{sud} + \sum(K_i S_i)_{nord} + \sum(K_i S_i)_{est} + \sum(K_i S_i)_{ouest} + \sum(K_i S_i)_{plancher} + \sum(K_i S_i)_{toiture}}{V_h}$$

$$G = \frac{26,26 + 11,2 + 92,05 + 89,85 + 8 + 26,82}{87.5}$$

$$G = 2,90 \text{ W/m}^3\text{°C}$$

Si : $0,85 < G < 2,5$ on dit que la salle est bien isolée

La valeur de la déperdition volumique de notre habitat est juste supérieur à la valeur maximale admise ($G=2,90 \text{ W/m}^3\text{K}$), on peut dire donc que l'habitat est bien isolée.

V. 6. 2 Les besoins en chauffage :

Calcule des besoins en chauffage pour chaque mois de la saison de chauffage :

	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR
T_{ext}	20	13,58	10,62	10	9,62	12,23	16
T_{int}	24	24	24	24	24	24	24
ΔT	4	10,42	13,38	14	14,38	11,77	8
B (kW/mois)	0.775	1.90	2.52	2.64	2.53	2.22	1.46

Tableau (V-4) : Besoins de chauffage pour chaque mois de la période de chauffe

$$B = G.V_h.\Delta T.24.n/1000 \quad \text{V. 8}$$

Avec n : c'est le nombre de jour dans le mois considéré.

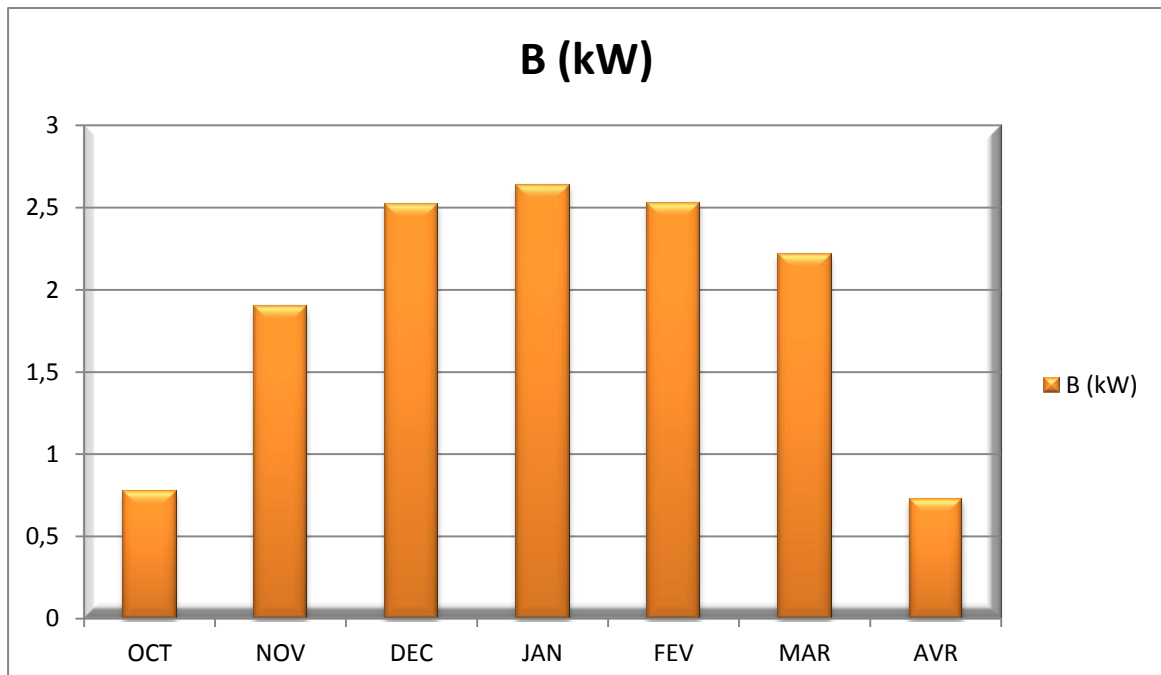


Figure V. 8: Histogramme des besoins en chauffage pour chaque mois de la saison de chauffage

On constate d'après la figure V. 8 que les besoins en chauffage sont plus importants pour les mois de Décembre, Janvier et Février (2.52 kW; 2.64 kW; 2.53 kW respectivement pour les trois mois citer).

Pour le mois d'Octobre, on nécessite peu de chauffage. On constate aussi que les déperditions de l'habitat peuvent être négligées devant les besoins pendant toute la saison de chauffe, cela implique que l'habitat est bien isolé

V. 7 Les résultats de simulation et l'interprétation :

V. 7. 1: les résultats de la production d'eau chaude pour

l'habitat :

- Température d'eau chaude
- Température de la sortie du capteur

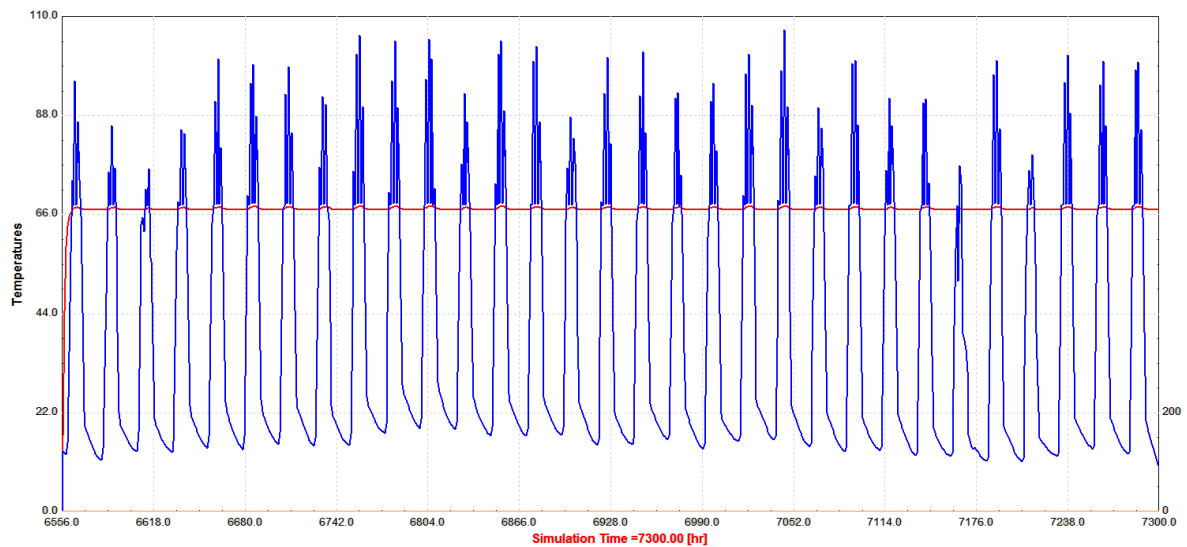


Figure V. 9: Variation de température d'eau chaude pour le mois d'Octobre

Pour le mois d'Octobre, la température de réservoir est toujours de 67.90°C pendant tout le mois, on remarque que les températures de la sortie du capteur sont supérieures à 68°C, on dit le mois d'Octobre a une forte irradiation par rapport les mois d'automne.

- Température d'eau chaude
- Température de la sortie du capteur

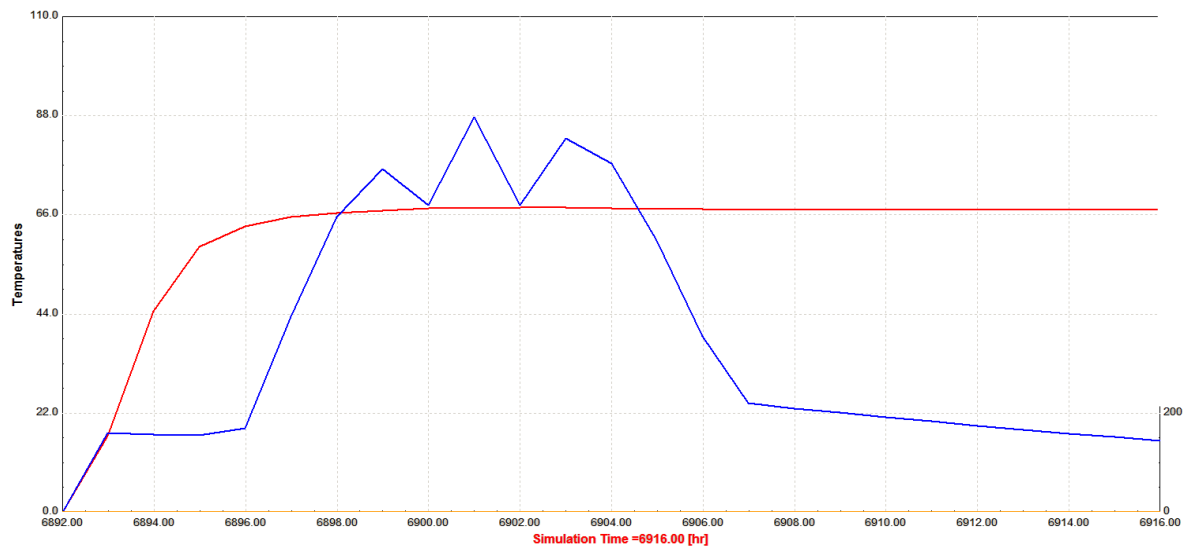


Figure V. 10: Variation de température d'eau chaude pour le 15 Octobre

Le 15 Octobre, la température de réservoir reste constante de 67.90°C et La température à la sortie du capteur atteint 87.82°C comme valeur maximale de 9h à 13h et après 14h elle commence à diminuer à cause d'ensoleillement, on dit que pendant la matinée de 15 Octobre ya une forte irradiation.

— Température d'eau chaude
— Température de la sortie du

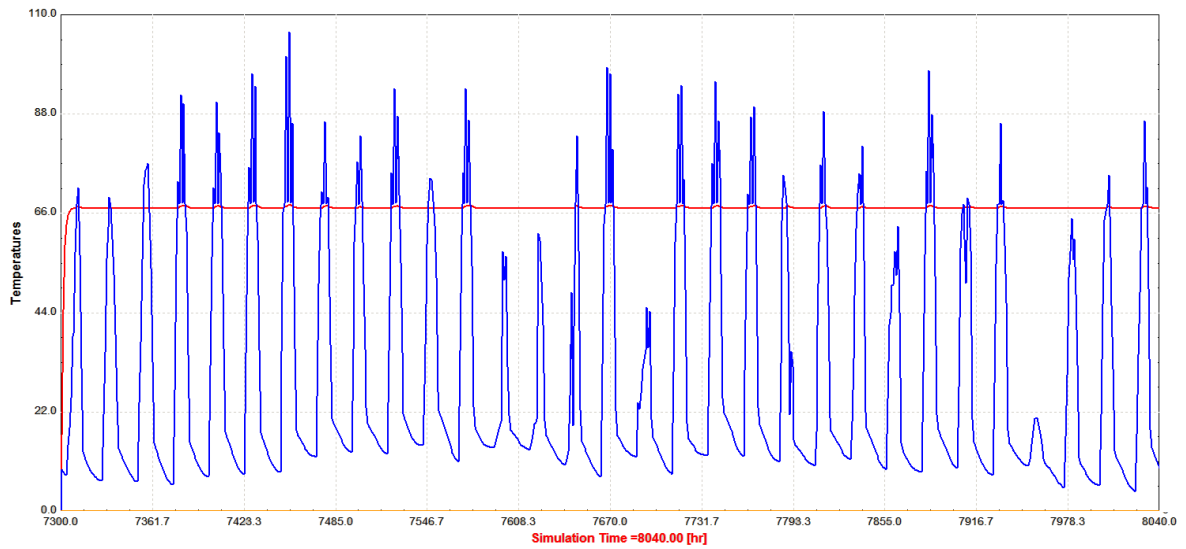


Figure V. 11: Variation de température d'eau chaude pour le mois de Novembre

Le mois de Novembre, la température de réservoir est de 67.83°C , cette valeur reste constante pendant tout le mois. Pour le 13 ; 14 ; 18 ; et 27 la température à la sortie du capteur est moins de 55°C .

Les valeurs de températures de la sortie du capteur atteintes la valeur maximale 106°C le 7 Novembre. Alors l'irradiation dans ce mois est un peu plus bas que le mois précédent.

- Température d'eau chaude
- Température de la sortie du capteur

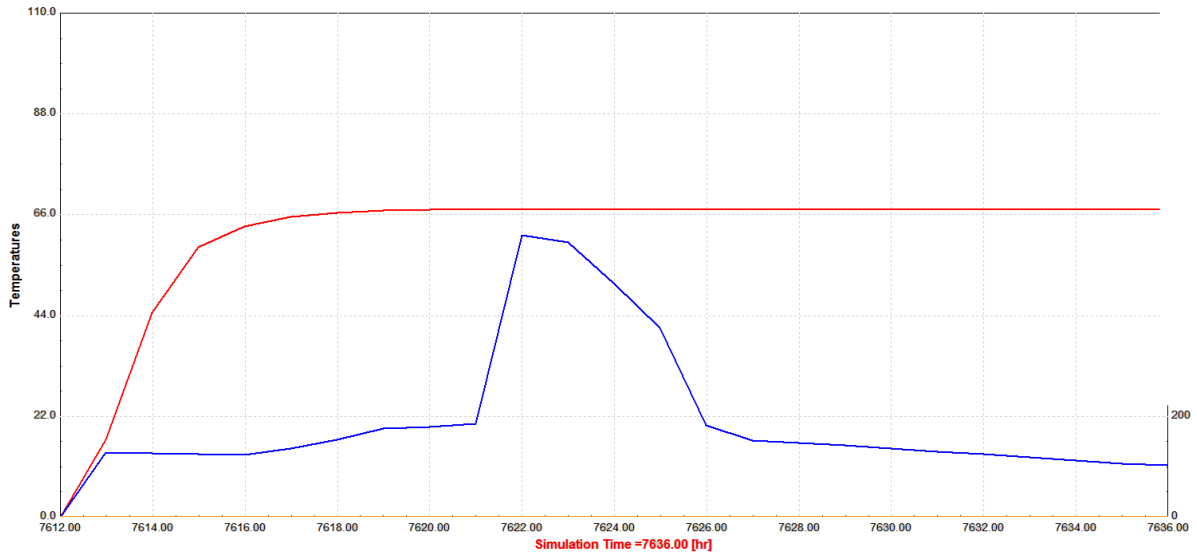


Figure V. 12: Variation de température d'eau chaude pour le 14 Novembre

Le 14 Novembre, la température à la sortie du capteur de 14 Novembre atteint 61.61°C comme valeur maximale entre 10h jusqu'à 12h mais la température de réservoir reste à 68°C.

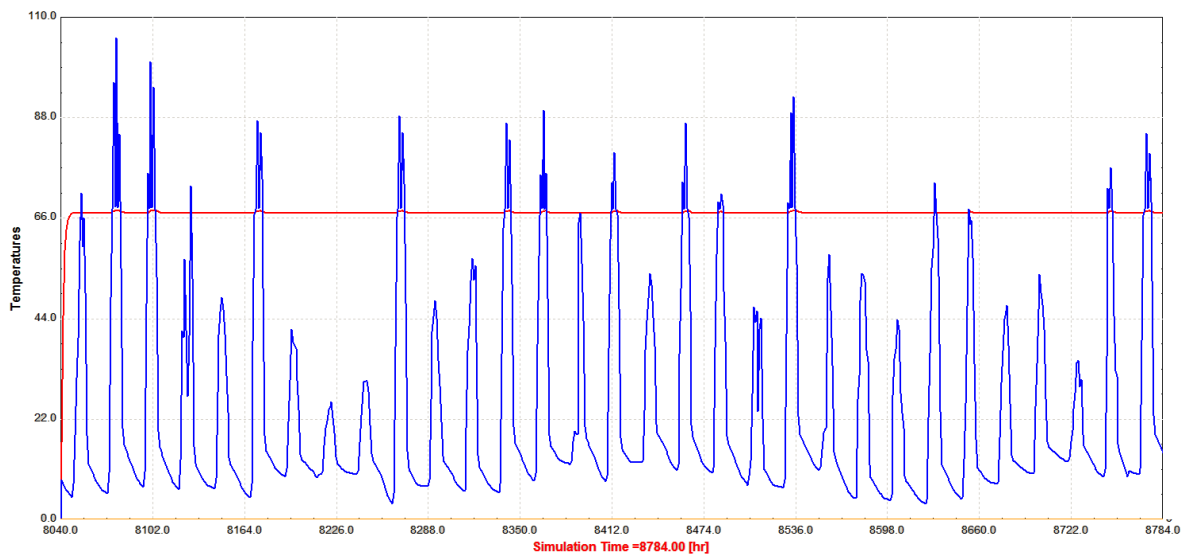


Figure V. 13: Variation de température d'eau chaude pour le mois de Décembre

Pour le mois de Décembre, la température de réservoir est toujours de 67.79°C pendant tout le mois.

Les valeurs de températures de la sortie du capteur atteint 106.5 C° comme valeur maximal le 2 Décembre et 3.75°C comme valeur minimale la nuit de 10 Décembre.

- Température d'eau chaude
- Température de la sortie du

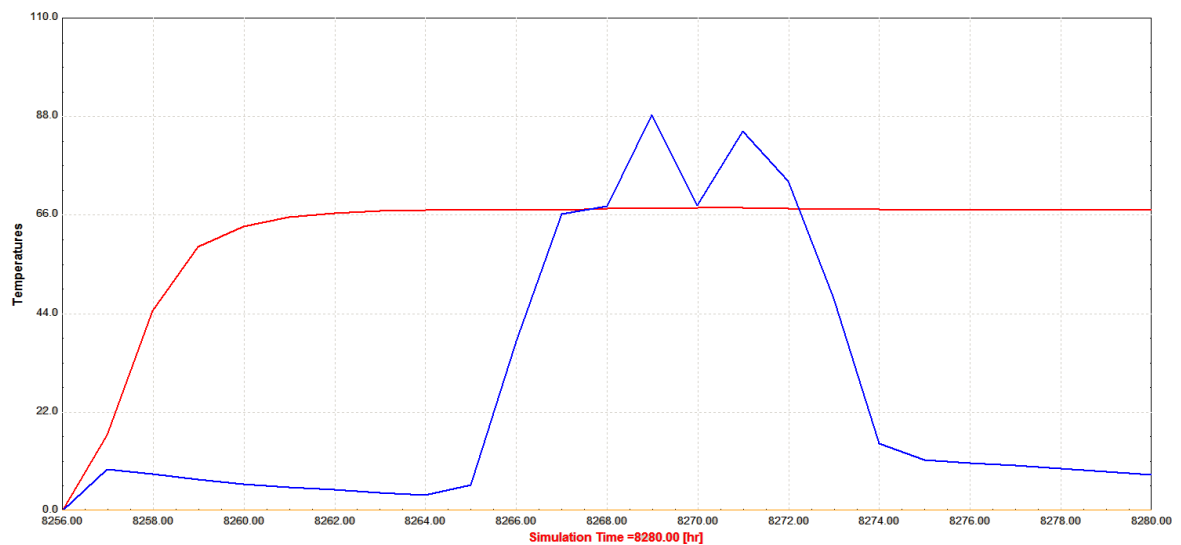


Figure V. 14: Variation de température d'eau chaude pour le 10 Décembre

Le 10 Décembre, la température de réservoir reste constante de 67.60°C et La température à la sortie du capteur atteint 88.48°C comme valeur maximale à 13h au 15h (on a un ensoleillement fort).

— Température d'eau chaude
— Température de la sortie du

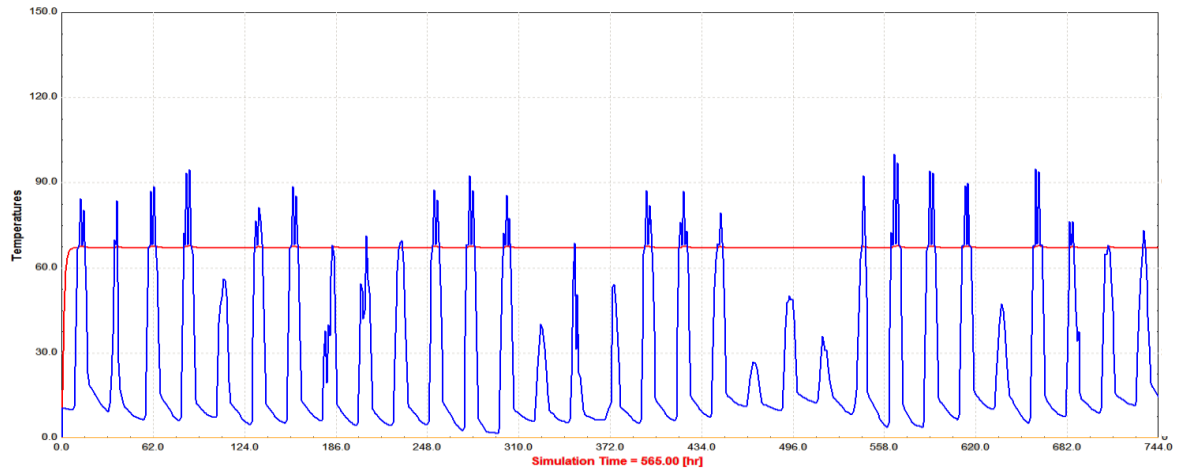


Figure V. 15: Variation de température d'eau chaude pour le mois de Janvier

Pour Janvier, on remarque que la température de l'eau chaude du réservoir reste constante 68°C, et à la sortie du capteur elle atteint 100°C comme valeur maximal (le 24 janvier) et moins de 1°C comme valeur minimal pendant les nuits.

— Température d'eau chaude
— Température de la sortie du

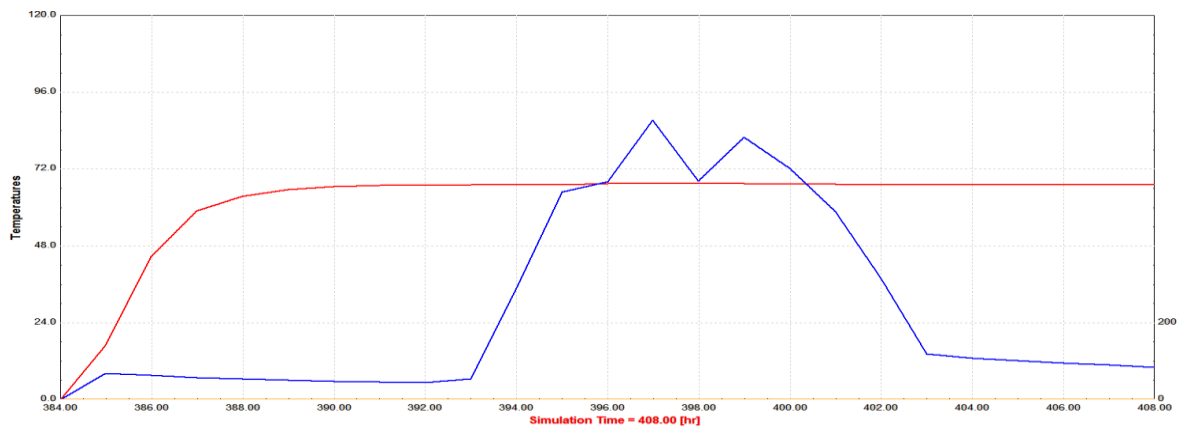


Figure V. 16: Variation de température d'eau chaude pour le 17 Janvier

Le 17 Janvier, on remarque que la température de la sortie du capteur est de 5 au 10°C au 1h-9h mais l'eau de réservoir est de 66°C, et à partir de 10h les deux températures augmentent jusqu'au avoir 68°C d'eau chaude. Pour le fluide du

capteur sa température atteint 87.31°C à 13h, elle diminue à partir de 17h à cause d'une faible irradiation.

- Température d'eau chaude
- Température da sortie du capteur

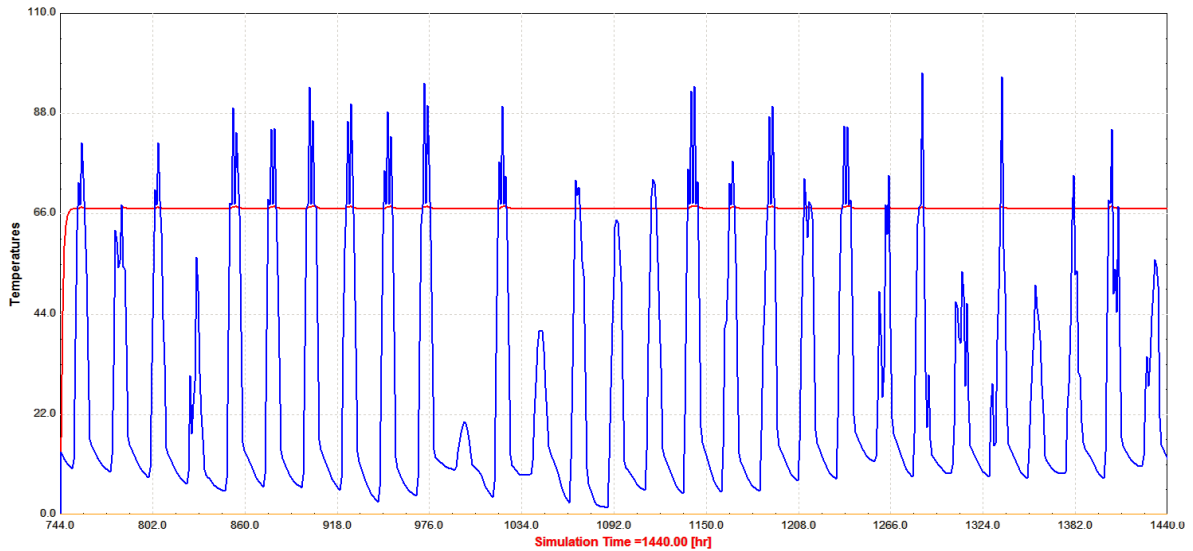


Figure V. 17: Variation de température d'eau chaude pour le mois de Février

Tous le mois de Février, la température de réservoir atteint la valeur de 67.52°C, et la température de sortie du capteur varie entre 1.70°C et 96.97°C le 23 février.

Le 11 Février on remarque 19 °C pour la sortie du capteur avec 68°C pour la sortie de réservoir.

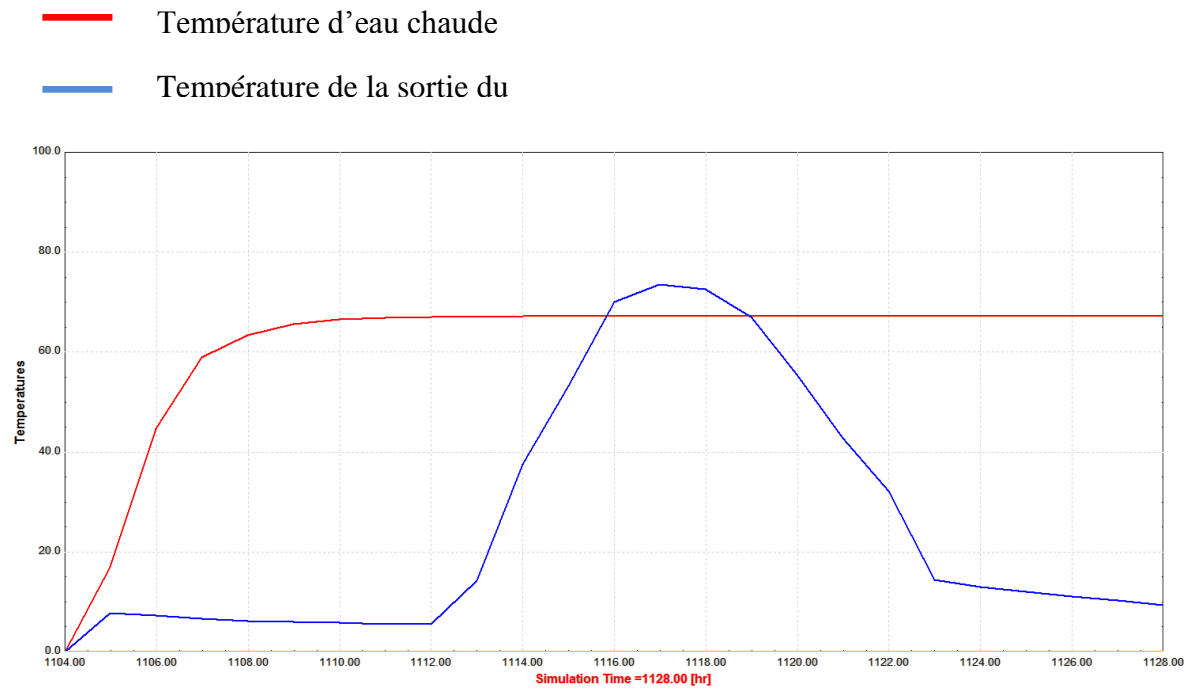


Figure V. 18: Variation de température d'eau chaude pour le 16 Février

Le 16 Février, la température à la sortie du capteur atteint 73.59°C de 12h à 16h et après 16h elle commence à diminuer.

- Température d'eau chaude
- Température de la sortie du

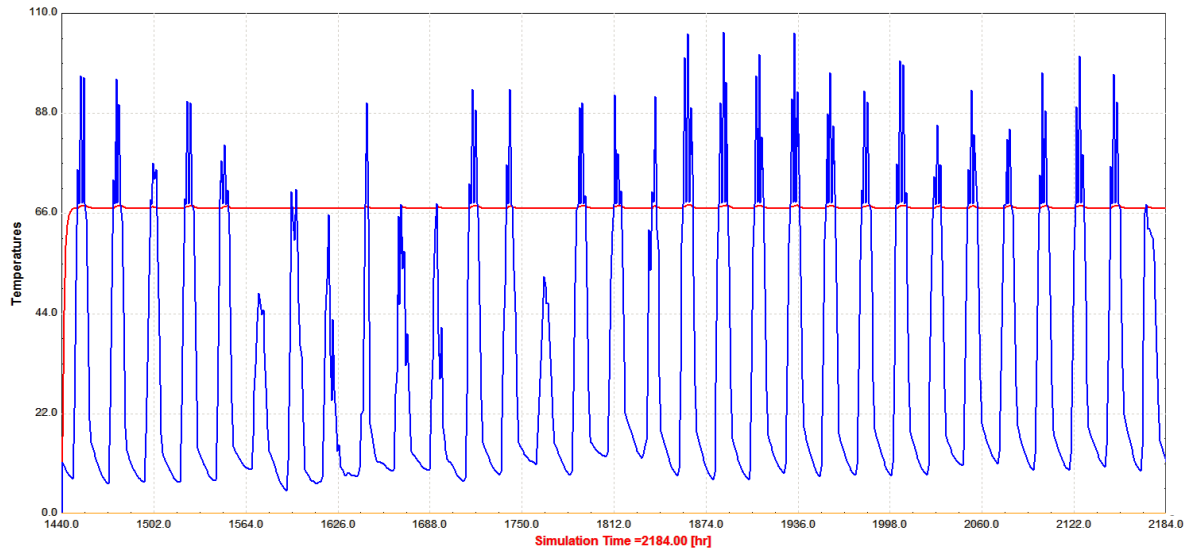


Figure V. 19: Variation de température d'eau chaude pour le mois de Mars

Pour le mois de Mars (figure V. 19), la température de réservoir est de 67.89°C , cette valeur reste constante pendant tout le mois.

L'irradiation de ce mois est remarquable à part le 6 et le 14 mars où l'ensoleillement est faible par rapport tous le mois.

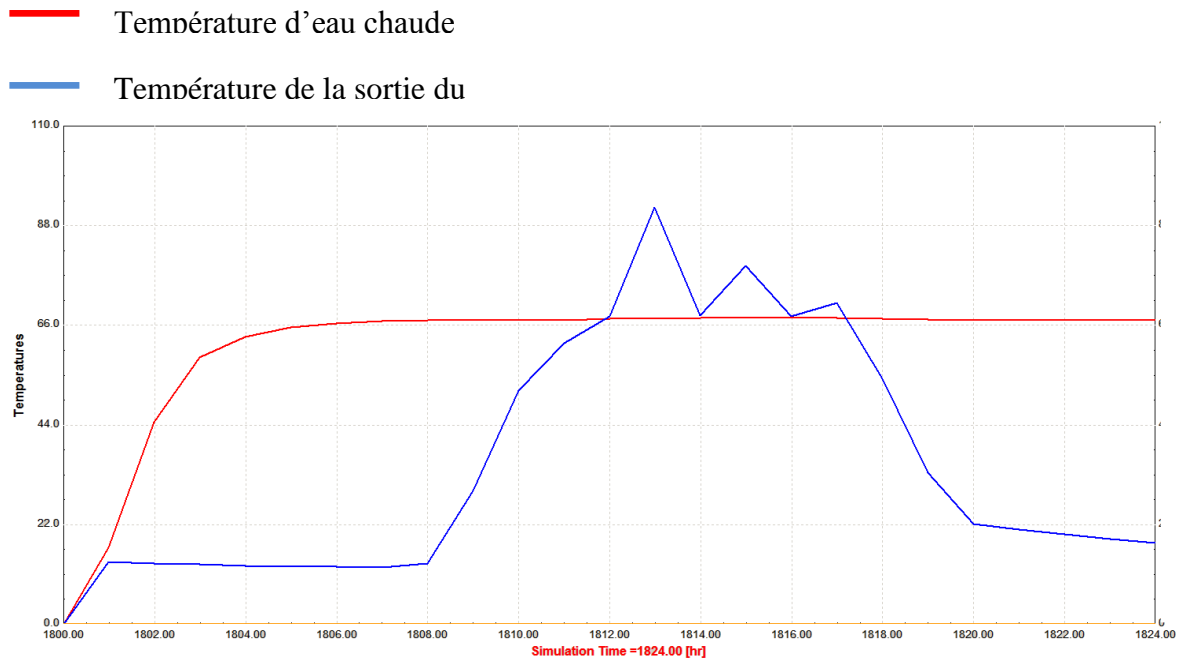


Figure V. 20 : Variation de température d'eau chaude pour le 16 Mars

Le 16 Mars, la température de réservoir reste presque constante 67.72°C et La température à la sortie du capteur atteint 92.07°C comme valeur maximale à 13h puis elle change avec le changement de le climat, par contre la température du réservoir reste à 67°C.

- Température d'eau chaude
- Température de la sortie du

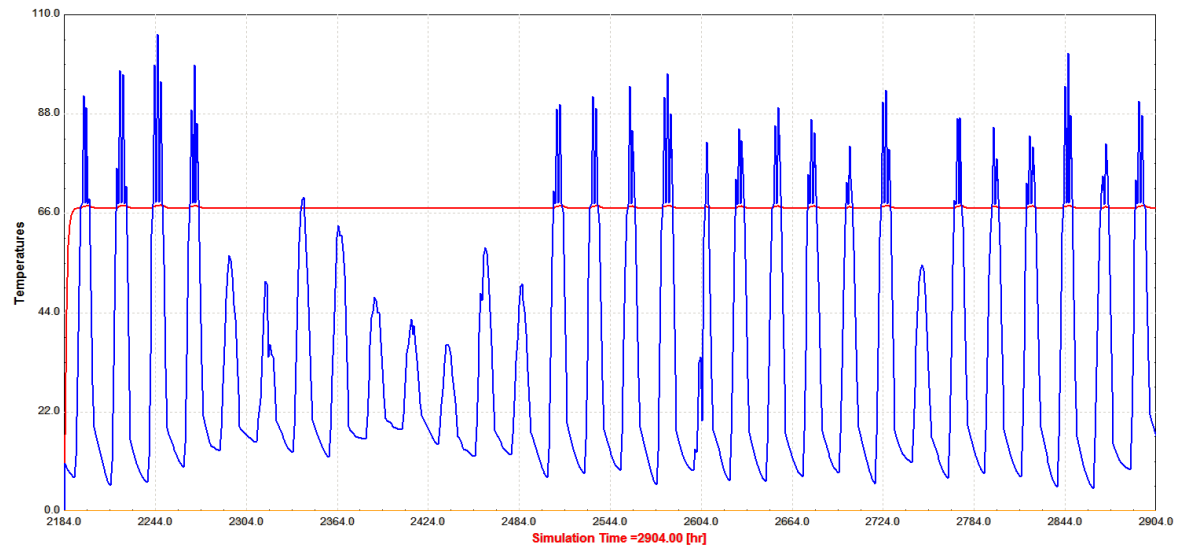


Figure V. 21: Variation de température d'eau chaude pour le mois d'Avril

Le mois d'Avril, la température de réservoir est de 67.80°C , cette valeur reste constante. La valeur de température de la sortie du capteur atteint 105°C , elle diminue entre le 5 et le 13 Février à cause de changement du climat.

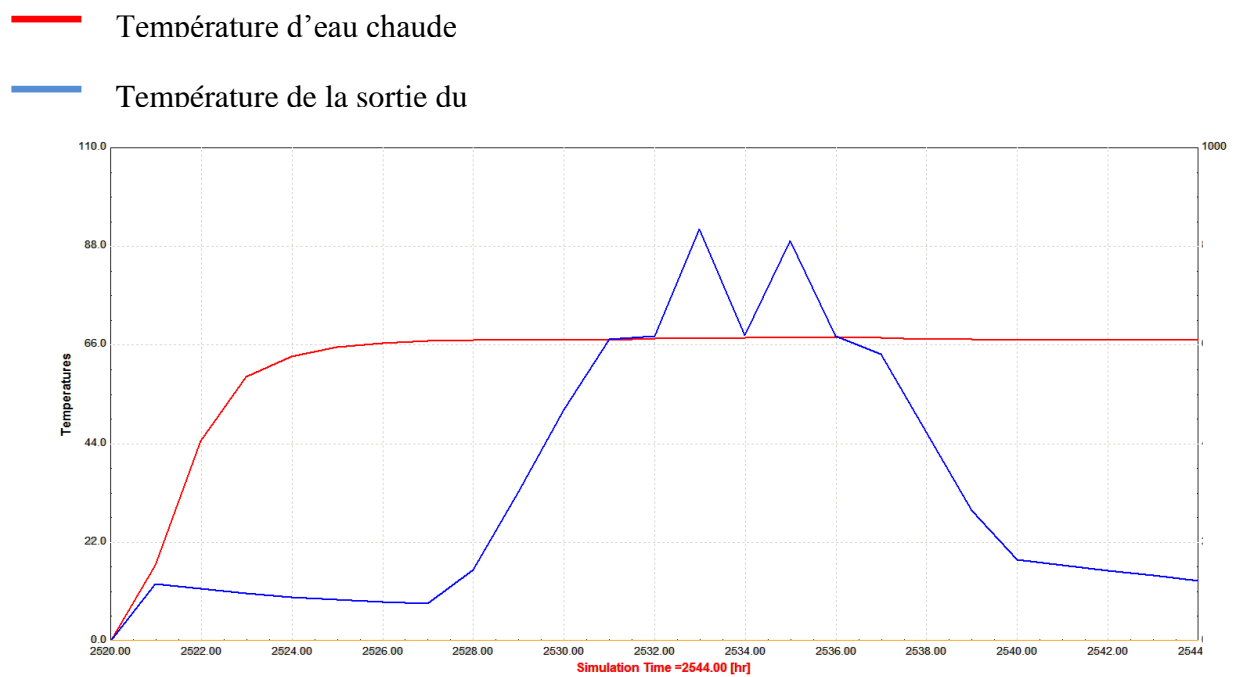


Figure V. 22: Variation de température d'eau chaude pour le 15 Avril

Le 15 Avril, la température de réservoir reste constante de 67.75°C et La température à la sortie du capteur atteint 92.07°C comme valeur maximale de 13h à 15h, à ces deux heures on remarque un fort ensoleillement.

V. 7. 2 Les résultats du chauffage de l'habitat :

- Température à l'intérieur de la salle
- Température ambiante de l'extérieur
- Température de sortie du capteur

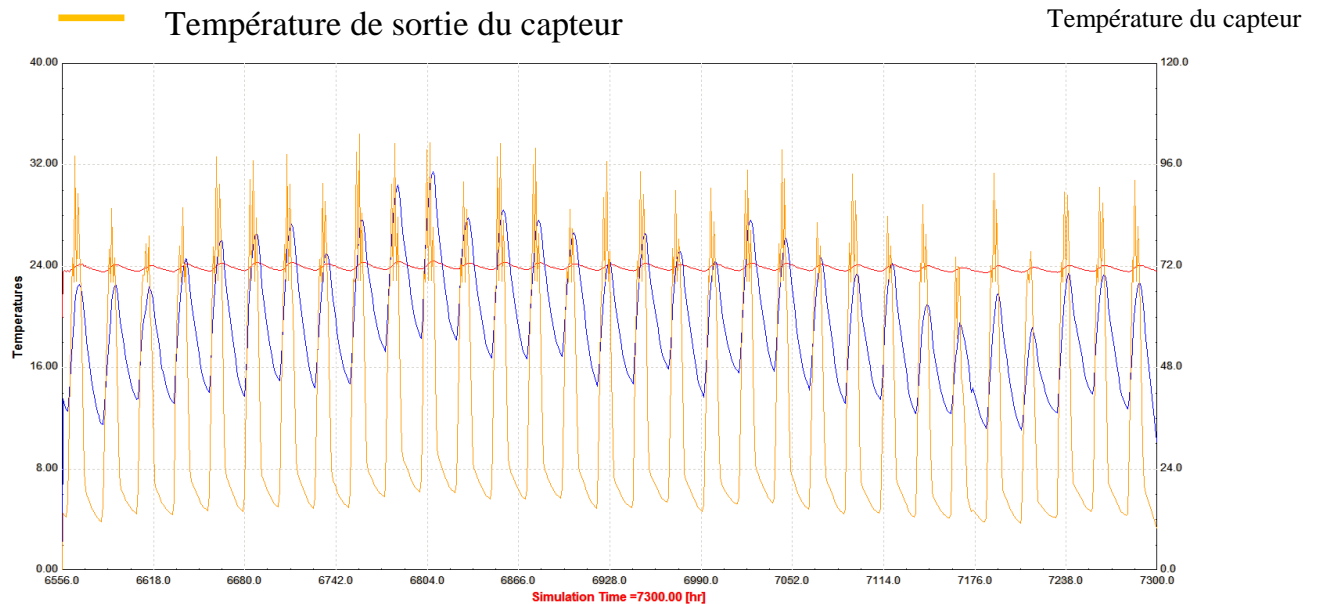


Figure V. 23: Variation de la température du chauffage pour le mois d'Octobre

La température de sortie du capteur varie entre 74°C et 110°C, mais la température de la salle reste constante (24°C tous le mois jours et nuits). Cette valeur est assurée par le système d'appoint. À l'extérieur, elle atteint 31.48°C comme valeur maximal (le 11 octobre) et pour la sortie du capteur on constate une température de 101°C mais pour la salle c'est toujours 24°C.

On remarque que la température d'extérieur dépasse les 24°C (Octobre le : 5 ; 6 ; 7 ; 10 ; 11 ; 12....), l'appoint n'est pas nécessaire pour ces jours.

- Température à l'intérieur de la salle
- Température ambiante de l'extérieur
- Température de la sortie du capteur

Température du capteur

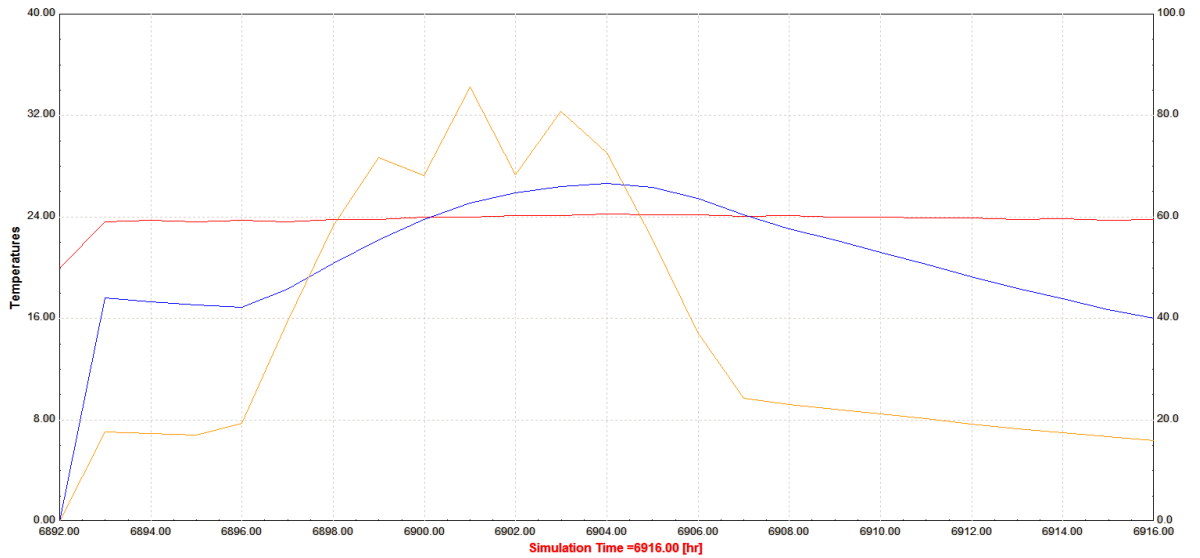


Figure V. 24: Variation de la température de chauffage pour le 15 Octobre

Pour le jour type (15 Octobre), la température de la salle reste à 24°C quand la température de la sortie de capteur atteint les 85°C contre une température de l'extérieur de 26.67°C (à midi) Cette dernière débute à partir de 16°C à 4h et elle commence à augmenter à 6h à cause d'intensité d'ensoleillement (lever du soleil). Elle commence à diminuée à partir de 17h.

- Température à l'intérieur de la salle
- Température ambiante de l'extérieur
- Température de la sortie du capteur

Température du capteur

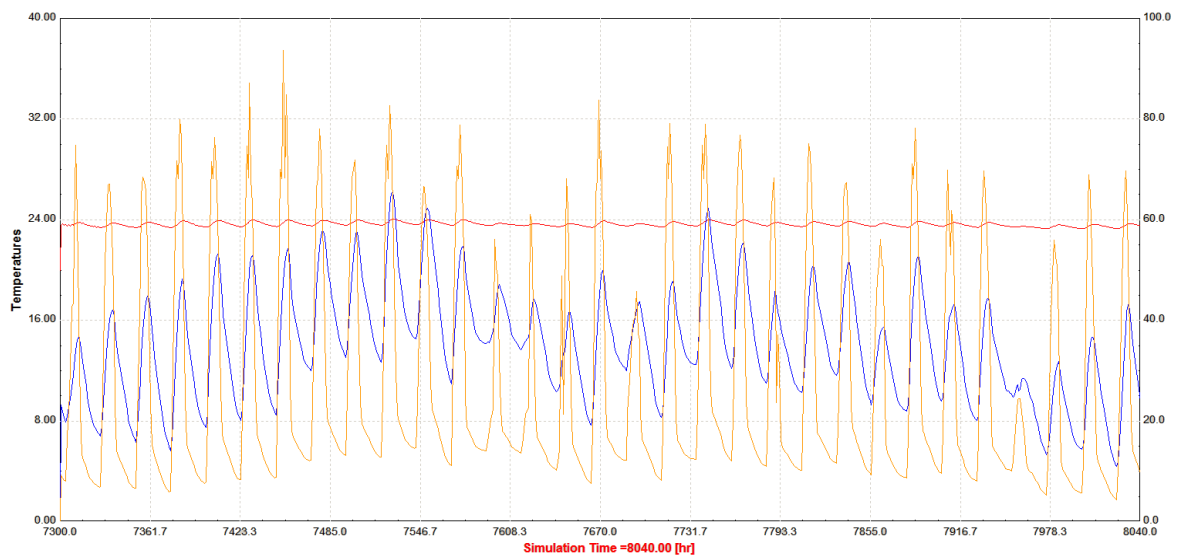


Figure V. 25: Variation de la température du chauffage pour le mois de novembre

Pour le mois de Novembre, on remarque que la température à l'intérieur de la salle est toujours d'ordre 23°C à 24°C. Le 07 Novembre on constate une température de 93°C pour la sortie du capteur et 21.71°C pour l'ambiance avec 24 °C à l'intérieur de la salle. Le mois de Novembre est donc moins chaud que le mois d'Octobre.

- Température à l'intérieur de la salle
- Température ambiante de l'extérieur
- Température de la sortie du capteur

Température du capteur

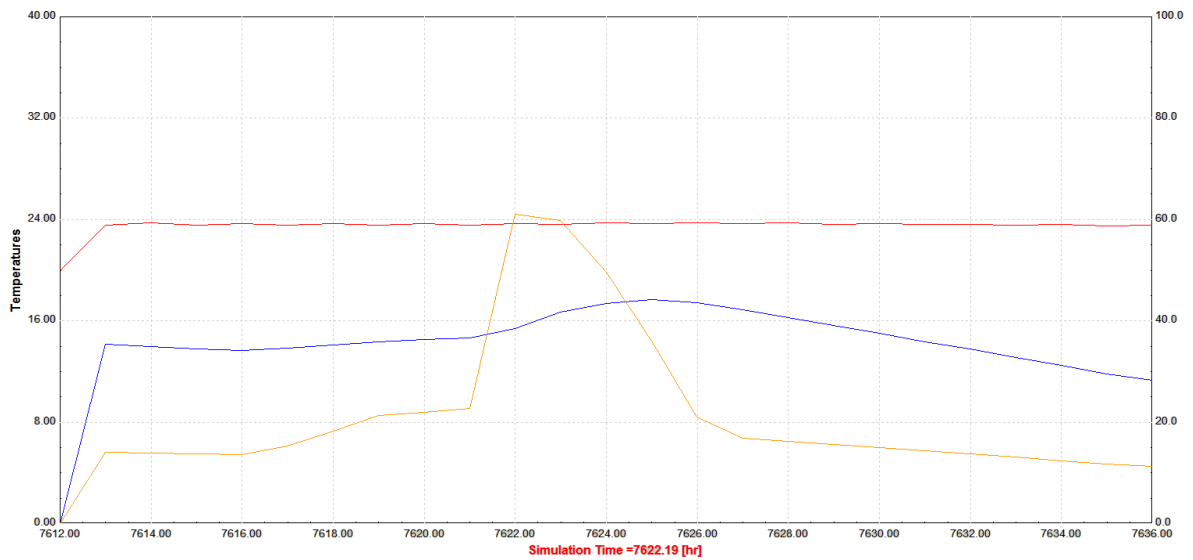


Figure V. 26: Variation de la température de chauffage pour le 14 novembre

Pour garder une température de 24°C dans la salle, contre 14°C pour l'ambiance le système d'appoint fournit la différence à cause d'une faible irradiation, le capteur n'atteint que 59°C (n'est pas suffisant pour le chauffage).

- Température à l'intérieur de la salle
- Température ambiante de l'extérieur
- Température de la sortie du capteur

Température du capteur

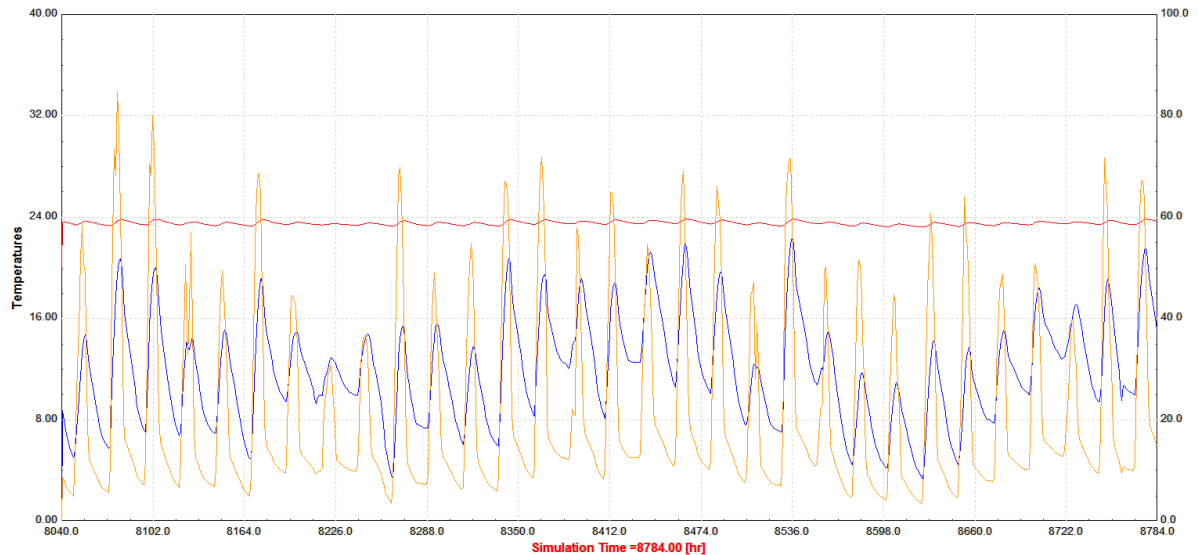


Figure V. 27: Variation de la température du chauffage pour le mois de décembre

Pour le mois de décembre (*Figure V. 27*), on remarque que les valeurs de la température à l'extérieure sont plus bas que les autres mois (18°C comme valeur moyenne) même pour la sortie du capteur (82°C maximum) et à l'intérieur de la salle égale à 23°C au 24.63°C.

Le mois de décembre est le mois le plus froid dans la période de chauffe, alors il faut une autre source pour le chauffage ce qui implique la nécessité du système d'appoint.

- Température à l'intérieur de la salle
- Température ambiante de l'extérieur
- Température de la sortie du capteur

Température du capteur

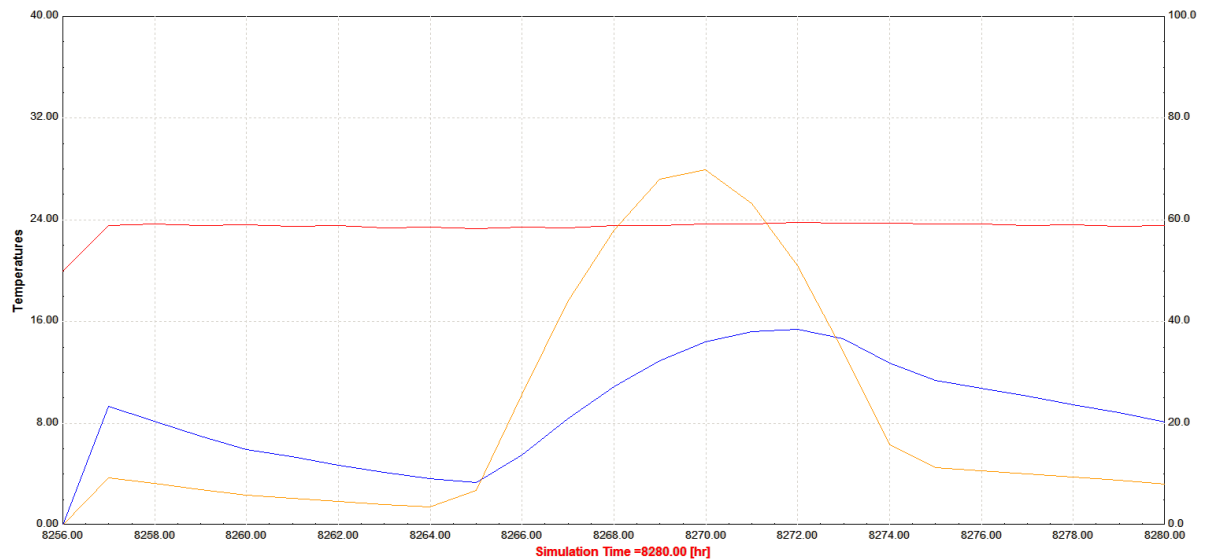


Figure V. 28: Variation de la température de chauffage pour le 10 Décembre

Pour le 10 Décembre La température d'ambiance diminue (de 10°C à 4°C au matin) pareille pour la température du capteur (5°C au 3°C). Et à 16h elle atteint 24.5°C avec une valeur de 15.9°C à L'extérieur.

- Température à l'intérieur de la salle
- Température ambiante de l'extérieur
- Température de la sortie du capteur

Température du capteur

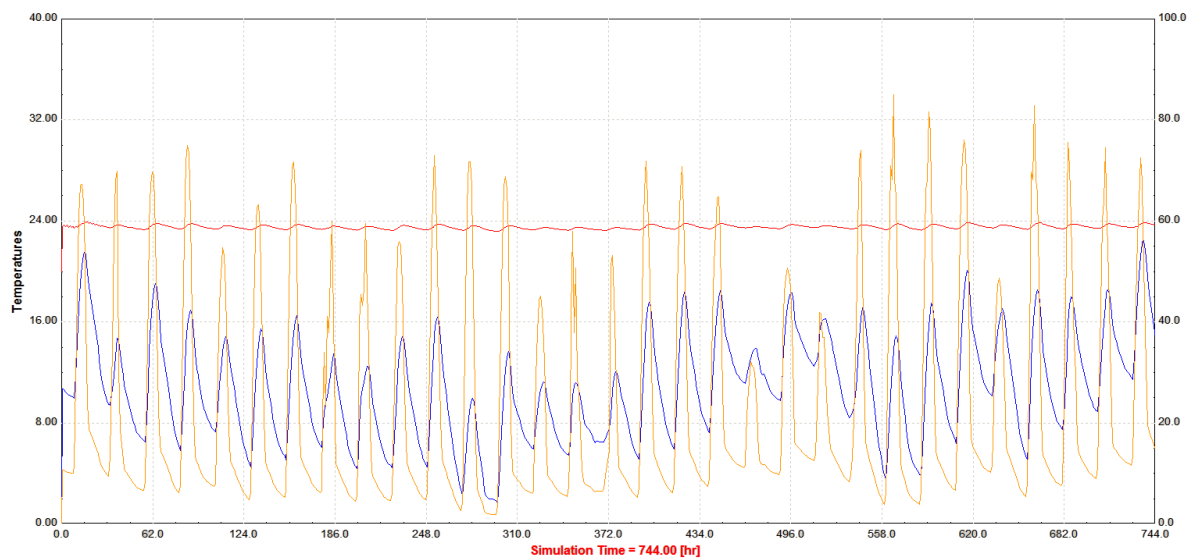


Figure V. 29: Variation de la température du chauffage pour le mois de janvier

Pour le mois de Janvier, on remarque que la température à la sortie de capteur atteint 85°C comme valeur maximal (le 24 janvier) et 1°C comme valeur minimal pendant la nuit.

- Température à l'intérieur de la salle
- Température ambiante de l'extérieur
- Température de la sortie du capteur

Température du capteur

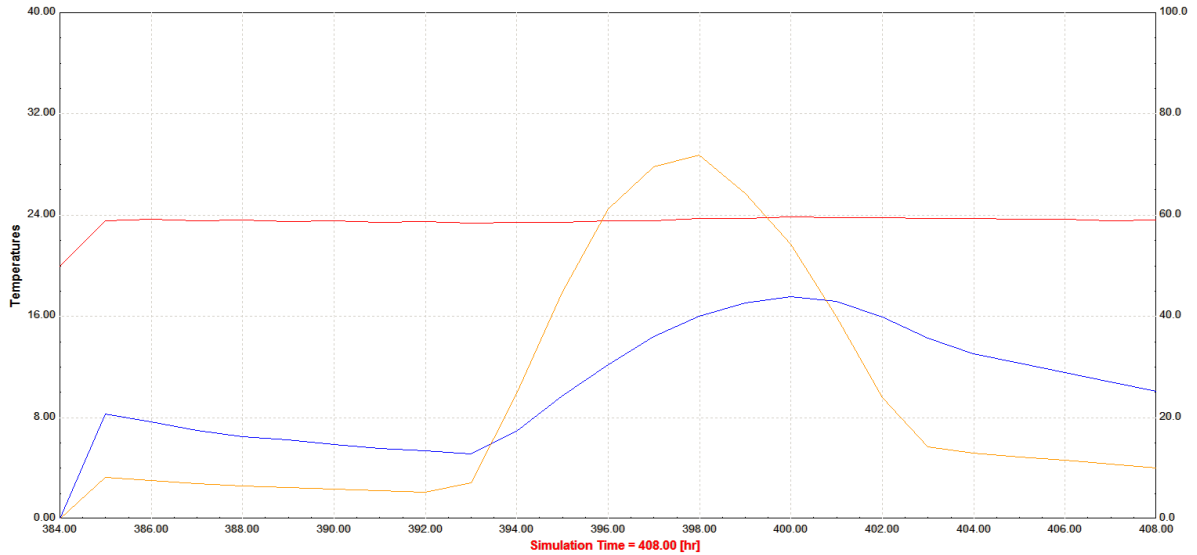


Figure V. 30: Variation de la température de chauffage pour le 17 Janvier

Pour le jour type de mois de janvier (17 janvier), on remarque que la température d'ambiance diminue (de 8°C à 5.22°C au matin). Et à midi elle atteint 24.48°C comme valeur maximale avec 72°C à la sortie du capteur. La température extérieure atteint sa valeur maximale à 16h (17°C).

On remarque que la température de la sortie du capteur est de 10 au 5°C (1h-9h) et à partir de 10h les deux températures augmentent jusqu'à avoir 72°C à la sortie du capteur à 14h, elle diminue jusqu'à 60.71°C à 15h à cause de faibles irradiations.

- Température à l'intérieur de la salle
- Température ambiante de l'extérieur
- Température de la sortie du capteur

Température du capteur

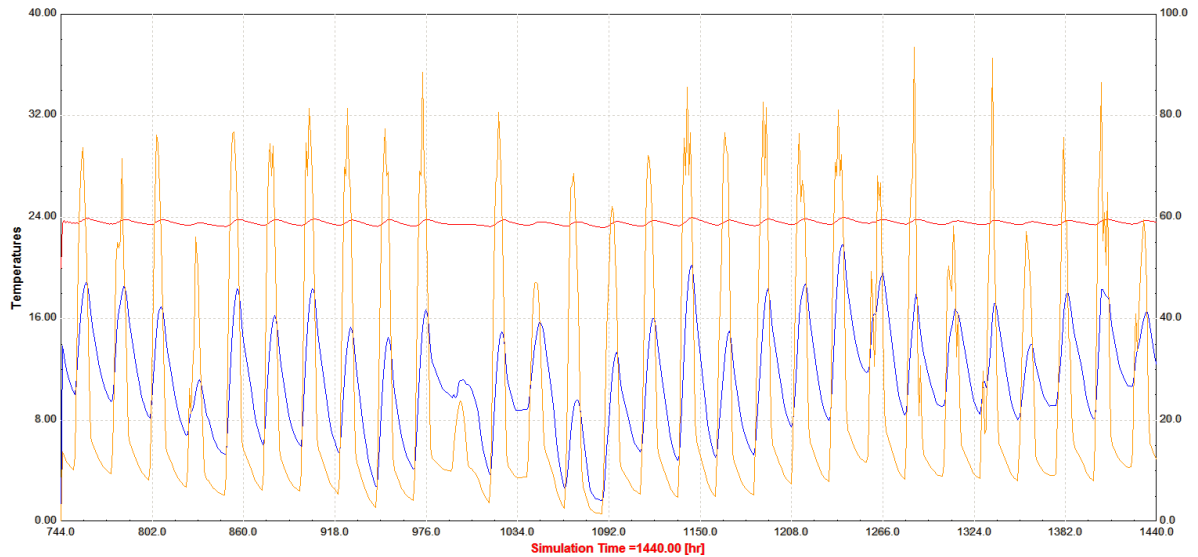


Figure V. 31: Variation de la température du chauffage pour le mois de février

Pendant le mois février, la température atteint la valeur maximale (24.62°C) le 21 février contre 21.49°C l'extérieur.

La température à la sortie du capteur atteint les 98°C comme valeur maximal (le 23 Février) et moins de 1°C comme valeur minimal pendant la nuit.

- Température à l'intérieur de la salle
- Température ambiante de l'extérieur
- Température de la sortie du capteur

Température du capteur

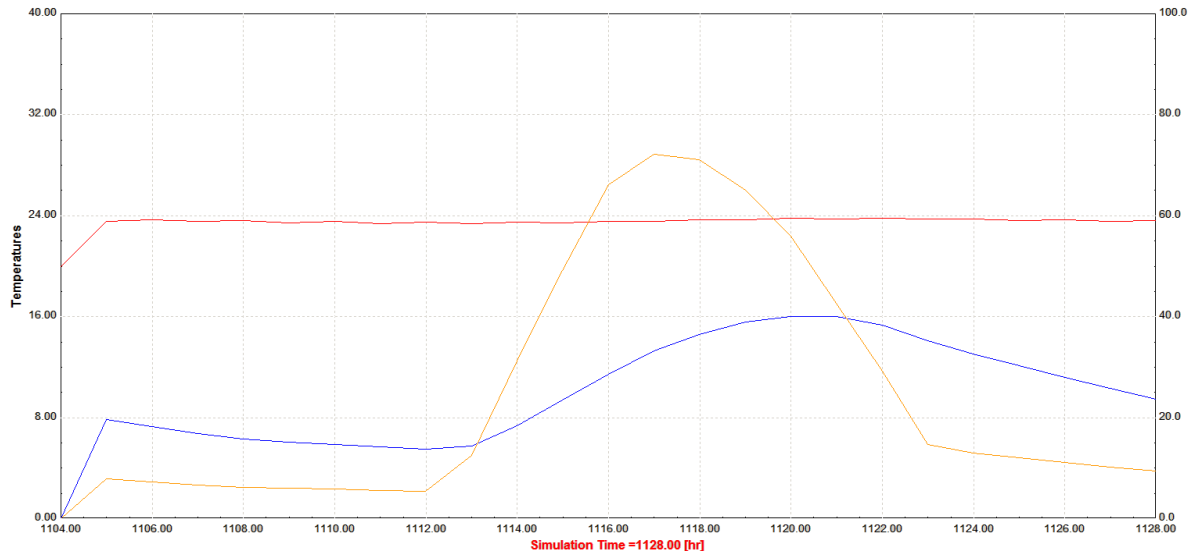


Figure V. 32 : Variation de la température de chauffage pour le 16 Février

La température ambiante pour le 16 février diminue (de 8°C à 5.76°C au matin). Vers 16h elle atteint 24°C comme valeur maximale contre 16.06°C pour l'extérieure.

La température à la sortie du capteur pour le même jour atteint 75.05°C, après 16h elle commence à diminuer.

- Température à l'intérieur de la salle
- Température ambiante de l'extérieur
- Température de la sortie du capteur

Température du capteur

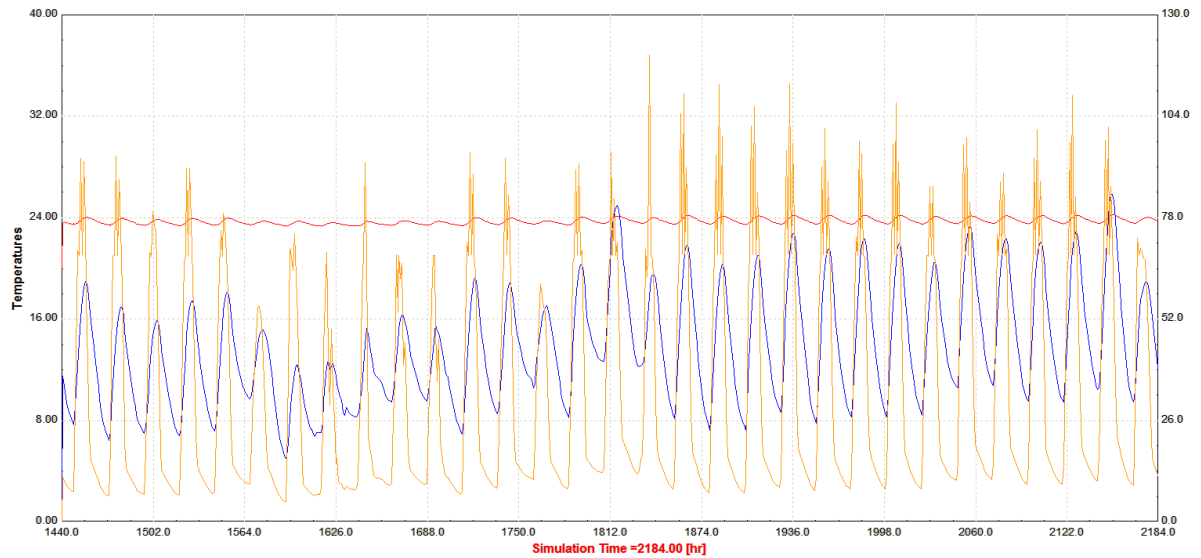


Figure V. 33: Variation de la température du chauffage pour le mois de mars

Pour le mois de mars, la température de l'extérieur atteint 24.68°C pour le 17 Mars.

La température à la sortie du capteur atteint 125°C comme valeur maximal le 18 Mars. L'irradiation de ce mois est remarquable à part le 6 et le 14 mars où l'ensoleillement est faible par rapport aux autres journées du mois.

- Température à l'intérieur de la salle
- Température ambiante de l'extérieur
- Température de la sortie du capteur

Température du capteur

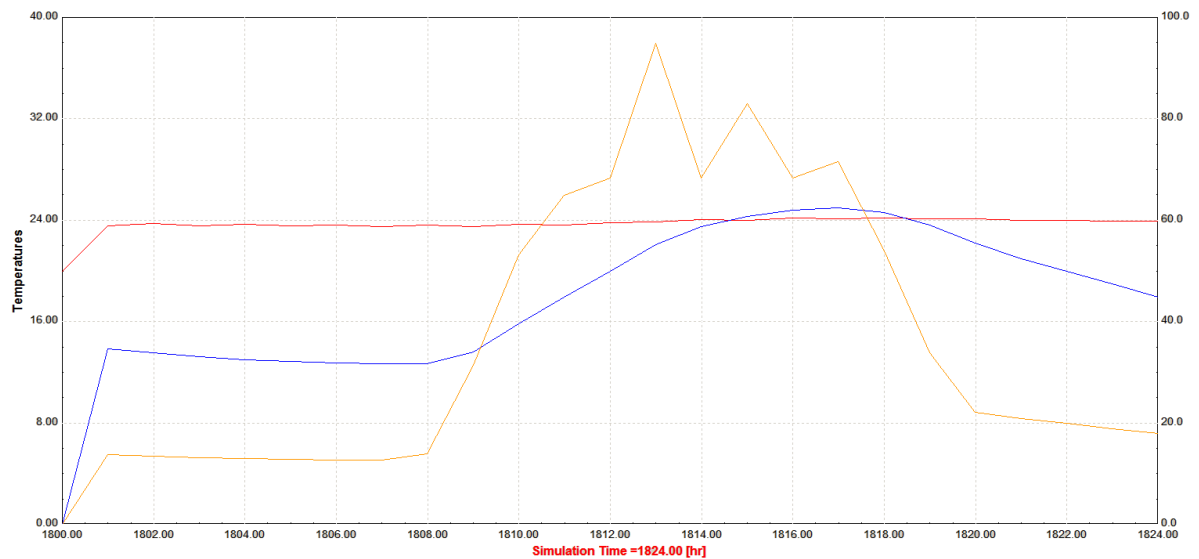


Figure V. 34 : Variation de la température de chauffage pour le 16 Mars

Pour le 16 Mars, la température de l'extérieur est de 12 à 13°C pendant la matinée. À 16h la température d'extérieur dépasse 25°C et la température intérieure reste à 24°C, par contre la température à la sortie du capteur atteint 98.07°C comme valeur maximale à 13h puis elle change avec le changement de l'ensoleillement.

- Température à l'intérieur de la salle
- Température ambiante de l'extérieur
- Température de la sortie du capteur

Température du capteur



Figure V. 35: Variation de la température du chauffage pour le mois d'Avril

Pour le mois d'Avril, la valeur de la température de sortie du capteur atteint 125°C (le 28 Avril), elle diminue entre le 5 et le 13 avril à cause de changement du climat.

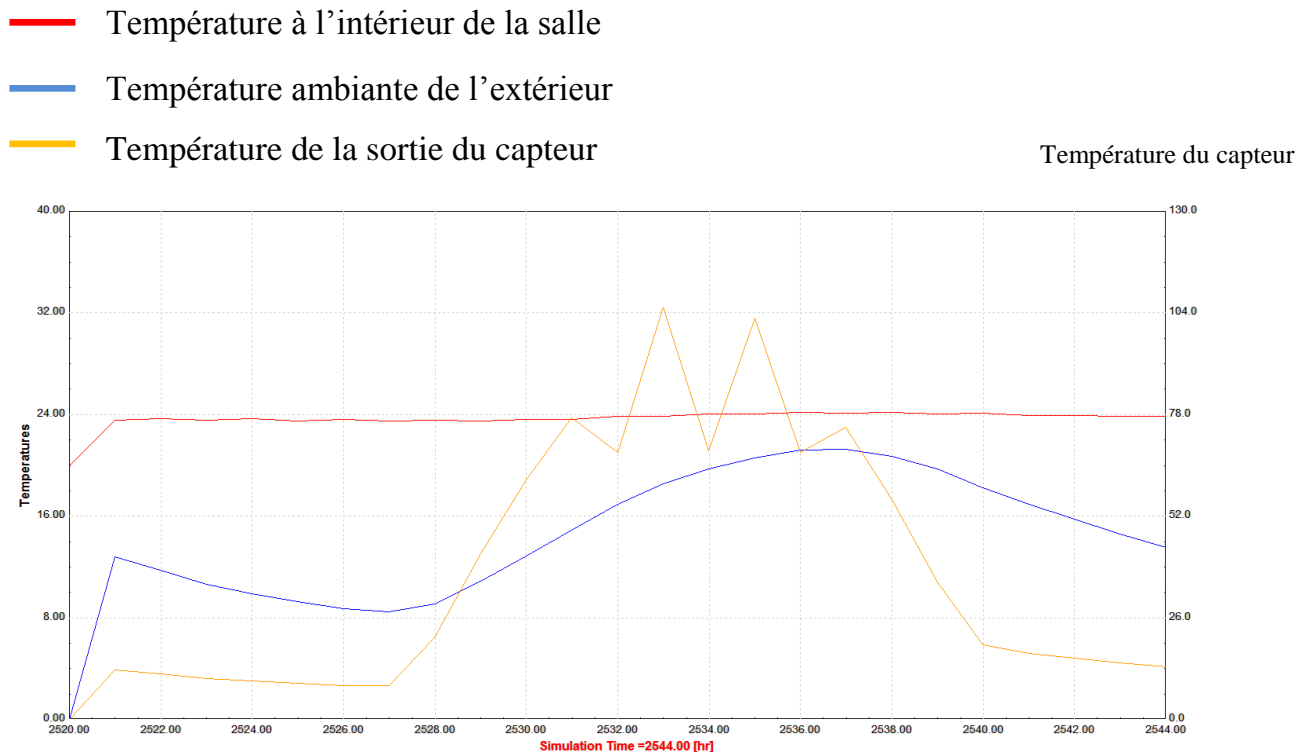


Figure V. 36: Variation de la température de chauffage pour le 15 Avril

Le 15 Avril, la température de la salle reste à 24°C quand la température extérieure est de 8°C pendant la matinée. Vers 10h la température extérieure commence à augmenter Jusqu'à 15h : elle atteint 21°C comme valeur maximale.

La température à la sortie de capteur atteint 103.07°C comme valeur maximale entre 13h et 15h.

V. 8 Conclusion :

Le mois de décembre est le mois le plus froid dans la période de chauffe, alors il faut une autre source pour le chauffage ce qui implique la nécessité du système d'appoint.

Pour la période de chauffe comprise entre janvier (0h) et Avril (2904h), voir figure V. 37 nécessite, l'allure générale de la température extérieure est croissante par contre pour la période comprise entre Octobre (6556h) et Décembre (8784h) cette allure est décroissante ce qui confirme que le mois de décembre est le mois le plus froid dans la période de chauffe, alors il faut une autre source pour le chauffage ce qui implique la nécessité du système d'appoint.

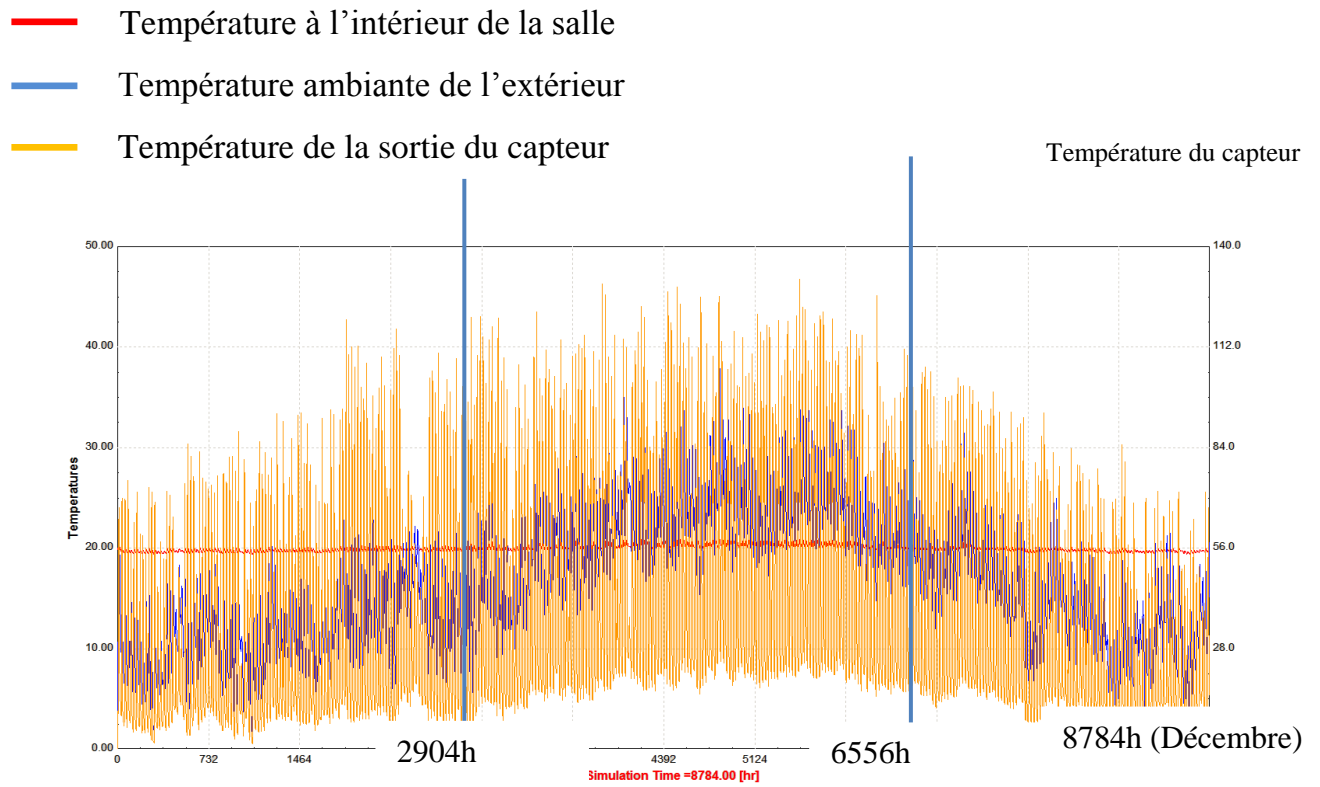


Figure V. 37: Variation de la température de chauffage pour la période de chauffe

Conclusion

générale

Notre travail été basé sur une étude théorique d'une installation solaire destiné à la production d'eau chaude sanitaire et le chauffage d'une habitation situé à Tlemcen dans la période de chauffe (d'Octobre jusqu'au Avril).

Pour la réalisation de la simulation de l'installation, nous avons utilisée le logiciel TRNSYST16 qui donne les paramètres et les dimensionnements de chaque élément de l'installation utilisée et aussi le logiciel Méteonorme qui donne les paramètres climatique du site Tlemcen.

Le calcul établi permet d'estimer les déperditions à travers les murs, la toiture et le plancher.

L'étude nous a montré que le mois de Février est le mois où les déperditions sont maximales (1.03 kW), elles représentent cinq fois les déperditions minimales constatées pour le mois d'Octobre.

D'une manière générale, la valeur de la déperdition volumique G de l'habitat est juste supérieur à la valeur maximale admise ($G=2,90 \text{ W/m}^3\text{K}$).

On constate d'après cette étude que les besoins en chauffage sont plus importants pour les mois de Décembre, Janvier et Février (2.52 kW; 2.64 kW; 2.53 kW). On constate aussi que les déperditions de l'habitat sont négligées devant les besoins pendant toute la saison de chauffe. On peut dire donc que l'habitat est bien isolé.

Concernant la production d'eau chaude, une température ne dépassant pas les 70°C est largement suffisante. Le système de régulation de l'installation nous permet d'avoir une température constante dans le ballon de stockage. Avec une surface de captage de 2m^2 et un volume de stockage de 350l, l'appoint n'est pas nécessaire.

Pour la période de chauffe, inversement à la production d'eau chaude sanitaire une énergie d'appoint devient nécessaire.

Références bibliographiques

- [1] : Thermiques solaire: jannot Yves, 2007.
- [2] : Ch. Perrin, Ch. Vauge, «Le gisement solaire ». Technique et documentation (Lavoisier), 1982.
- [3] : P. BESSEMOULIN, J. OLIVIERI, « Le rayonnement solaire et sa composante Ultraviolette », La Météorologie. 8^{ème} série N° 31 (2000) p42-59.
- [4] : R. Bernard, G. Mengy, M. Schwarz « Le rayonnement solaire conversion thermique et application », 2^{ème} édition augmenté technique et documentation, Paris, Lavoisier/1980.
- [5] : M. DAGUENET, « Les séchoirs solaires ». Théorie et pratique, Unisco, Paris, 1985.
- [6]: D. C. ANDREW, D. S. JEFFREY, J. R. SIMON, D. S. MARVIN, A Model for simulating the performance of shallow pond as supplemental heat rejecter with closed-loop ground-source heat pump systems, American society of heating. Vol 106 Part 2 (2000) pp107-121.
- [7] : J. A. DUFFIE, W. A. BECKMAN, «Solar energy thermal processes», John Wiley and Sons, New York,1974.
- [8]: A. A. SAYIGH, « Characteristics of solar radiation », Solar Energy Conversion, Pergamon Press, Ontario, 1979.
- [9]: F. KREITH, J. KREIDER, « Principles of solar engineering », Hemisphere Publishing Corporation, Washington, 1978.
- [10]: Microsoft Encarta (2008). 1993-2007 Microsoft Corporation.
- [11]: Cutler, J. Cleveland, « Encyclopedia of Energy », Ph-S, volume 5, Elsevier academic press 2044 page 208-209.
- [12]: http://fr.wikipedia.org/wiki/Energies_renouvelables, 20.12.2066
- [13]: The world Energy Conference. Terminologies de d'énergie, dictionnaire multilingue, 2^{ème} édition, London, UK, First edition 1986.
- [14]: Alain Gilpin, « Dictionary of technology », Butterworth scientific Ann Arbor Science London 1982, page 320-321.
- [15] : <http://www.energiesdurables.com/>. 24.12.2006
- [16] : Fiche de synthèse, « les énergies renouvelables en Algérie » Ubifrance et les missions économiques ; actualisation du 14/07/2010. Fichier PDF

- [17] : Leconte, P et M. Rapin et E. Széchenyi, « *Eoliennes* ». Techniques de l'Ingénieur, traité Génie mécanique, 10 janv. 2001.
- [18] : Jack Robert, « Convertisseurs directs d'énergie électrique ». Technique et documentation Lavoisier, 1981.
- [19] : A. Laugier, J.A. Rogier, « Les photopiles solaire ». Technique et documentation Lavoisier/1981
- [20] : Queen bishop « Montage à cellules solaires », édition technique et scientifique française pp 9-12/1983
- [21] : Production d'énergie électrique, énergie solaire photovoltaïque.doc/B.Flèche-D.Delagnes/juin2007. PDF
- [22] : Jacques BERNARDS « Energie solaire Calculs et optimisation ». Aout 2004 France.
- [23]: <http://www.fedre.org/content/le-solaire-thermique-histoire-et-perspectives>
- [24]: A. Benkhelifa, « Optimisation d'un capteur Solaire Plan », Rev. Energ. Ren : Physique Energétique, pp.13-18, 1998.
- [25] : http://fr.ekopedia.org/capteur_h%C3%A9liothermique.
- [26] : <http://www.hespul.org/les-capteurs.html>.
- [27] : <http://www.planete-energies.com/contenu/energies-renouvelables/energie-solaire/capteur-solaires-thermiques.html>.
- [28] : http://www.Cours_solaire_thermiques-INES_Education.mht.
- [29] : http://www.raee.org/docs/FORMATION_SOLAIRE_CNFPT/1ASDER_capteursmarche.Pdf.
- [30]: http://www.apper-solaire-org/coop/AS_Sunrain_gene.JPG
- [31] : N.Kadem et F.K Benabdelaziz, « Etude du rendement optique du capteur d'une chauffe eau solaire », SIRE 5, Bechar, Novembre 2000.
- [32] : D.K. Edwards, « capteurs solaires », SCM, Paris, 1985.
- [33] MANUEL ANALYSE DE PROJETS DE CHAUFFAGE SOLAIRE PASSIF RETScreen International.Centre d'aide à la décision sur les énergies propres www.retscreen.net
- [34] : A.Dahmani, « Modélisation thermique d'un capteur solaire plan à eau », thèse d'initiation à la recherche, Batna 2008-2009.

[35]: http://www.ecosources.info/dossiers/Centrale_solaire_capteur_parabolique

[36] : Capteur solaire à concentration. PDF

[37]: CoolPack, Tutorial- Version 1.46, Department of Energy Engineering
Technical University of Denmark (DTU). WWW.et.dtu.dk/CoolPack

[38] : RECKNAGEL, Manuel pratique du génie climatique

[39] http://fr.wikipedia.org/wiki/Stockage_d%27%C3%A9nergie

[40]: NASA Surface meteorology and Solar Energy: RETScreen Data

[41] : MEJDOUB AMINE KHODJA, « Etude de l'espace entre l'absorbeur et la vitre et son influence sur le rendement d'un capteur solaire », thèse de magister en génie climatique, Constantine 2004

[42] : AMARA Sofiane « Optimisation des apports d'énergies hybrides dans l'habitat économe » thèse de doctorat en physique énergétique, 11 juin 2009, Université ABOU BAKR BELKAID-Tlemcen.

Résumé :

Notre travail porte sur l'étude d'une installation solaire combiné pour la production d'eau chaude sanitaire et le chauffage d'une habitation située dans le site de Tlemcen. Dans la première partie, nous avons présenté quelques notions sur le gisement solaire et l'importance des énergies renouvelables ainsi que les différents types des capteurs solaires et leurs fonctionnements.

Dans la deuxième partie, nous avons présenté une étude théorique et une simulation par le logiciel TRANSYS version 16 qui nous a permis d'étudier l'influence des données climatiques du site de Tlemcen sur l'installation solaire utilisée. Pour ce faire, nous avons calculés les déperditions thermiques à travers les parois et le coefficient de déperdition volumique de l'habitat, pour en suite faire une simulation du comportement du système de chauffage pour la période de chauffe prise entre le mois d'Octobre jusqu'au mois d'Avril. Cette simulation concerne le mois étudié et son jour type.

Mots clés : Installation solaire bivalente, production d'eau chaude sanitaire, chauffage solaire, capteur solaire thermique, stockage d'énergie, énergie solaire.

Abstract:

Our work focuses on the study of a solar combined installation to produce hot water and heating for a home in the site of Tlemcen. In the first part, we presented some ideas about the solar field and the importance of renewable energy and the different types of solar collectors and their workings.

In the second part, we presented a theoretical study and simulation with the software TRNSYS version 16 which allowed us to study the influence of climatic data from the site of Tlemcen on the solar installation used. To do this, we calculated the heat losses through of the walls and the coefficient of volume loss of this habitat and then make a simulation of the behavior of the heating system for the heating season between the months October until April. This simulation study for the months and their days types.

Keywords: Solar bivalent installation, producing hot water, solar heating, solar thermal collector, energy storage, solar energy.

الملخص

عملنا يركز على دراسة جهاز يوفر المياه الساخنة والتدفئة في نفس الوقت بواسطة الطاقة الشمسية لمسكن يقع في تلمسان. في الجزء الأول، قدمنا بعض الأفكار حول حقل الطاقة الشمسية وأهمية مصادر الطاقة المتجددة وأنواع مختلفة من لواقط تجميع الطاقة الشمسية وأساليب عملها. في الجزء الثاني قدمنا دراسة نظرية . و بواسطة برنامج المحاكاة وضحنا تأثير التقلبات المناخية لموقع تلمسان على الجهاز المستخدم لتدفئة المسكن. بعد ذلك، حسبنا خسائر الحرارة خلال الجدران ومعامل حجم خسارة الغرفة. ثم قمنا بمحاكاة سلوك نظام التدفئة لموسم التدفئة من شهر تشرين الأول إلى شهر نيسان. TRNSYS برنامج المحاكاة المستخدم في كل شهر من موسم التدفئة و يومه النموذجي.

الكلمات المفتاحية: جهاز الطاقة الشمسية ثنائي التكافؤ، إنتاج المياه الساخنة، التدفئة الشمسية، لاقط شمسي حراري ، تخزين الطاقة، الطاقة الشمسية.