



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET
DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE AKLI MOHAND OULHADJ DE BOUIRA
FACULTE DES SCIENCES ET DES SCIENCES APPLIQUEE
DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE



N° d'ordre :...../Master/2016.

Série :...../GM/2016.

MEMOIRE

Présenté pour obtenir le diplôme de master

en Génie Mécanique

OPTION :

Mécanique Energétique

**Etude comparative d'une installation d'un chauffe eau
solaire GTP dans trois sites**

Par : **Mechou Dihia**

Soutenue le : 30/ 06 /2016

Devant le jury composé de :

Président : Mr.M.Dahmane

Rapporteur : Pr .Mohammedi Kamel.

Examineur : Mr.Lekhel Rachid.

Examineur : Mme Baghdadia Fazia.

REMERCIEMENT

Je tiens particulièrement à exprimer toute ma reconnaissance à mon directeur de mémoire Monsieur Mohammedi Kamal je le remercie de m'avoir encadré, orienté, aidé et conseillé et aussi Monsieur Yamani Nordine pour ses orientations éclairées et surtout pour sa patience, tout le long de ce travail.

Je souhaite adresser mes remerciements les plus sincères aux personnes qui m'ont apporté leur aide et qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire.

Ma reconnaissance va à l'ensemble de nos enseignants de l'université « AKLI Mohand Oulhadj » de Bouira, et tous ceux qui ont eu à intervenir durant l'année théorique, pour leurs enseignements et les connaissances qu'ils nous ont transmis.

Je remercie très sincèrement, les membres de jury d'avoir bien voulu accepter d'en faire partie.

Enfin une pensée particulière à ma famille, mes chers parents, ainsi que mon frère, et sœurs et mes amis(e).

Dédicace

A la mémoire de mon grand père tombé les armes à la main aux champs d'honneur, pour que nous puissions vivre librement et dignement dans notre chère patrie l'Algérie.

A la mémoire de mes grands parents.

A mes très chers parents qui m'ont donné un magnifique modèle de labeur et de persévérance. J'espère qu'ils trouveront dans ce travail toute ma reconnaissance et tout mon amour.

A mon chers frère et sœurs : Kouceila, Fadma et Tamazgha

A mes oncles, leur femmes, leurs fils et à mes tantes

A mes meilleurs amis et amies

A mes enseignants depuis ma première année scolaire

A mes professeurs, pour la qualité de l'enseignement qu'ils m'ont inculqué, qu'ils trouvent ici le témoignage de ma plus vive reconnaissance.

A mes encadreurs, pour leurs soutiens et leurs investissements dans mes recherches

Je dédie ce mémoire

Mechou Dyhia .

Sommaire

Table des matières

Remerciements :	IV
Dédicace.....	VI
Liste des figures :	VII
Liste des tables :	XI
Nomenclatureur :	XII
Introduction générale :.....	1

CHAPITRE I : Synthèse Bibliographique et l'état de l'art.

I.1.Revue Bibliographique.....	2
I.2. Conclusion.....	7

CHAPITRE II : Le Gisement Solaire.

II.1. Introduction.....	8
II.2. Mouvement Apparent Du Soleil.....	9
II.3. Les Coordonnées Géographiques D'un Site.....	9
II.3.1. La latitude du lieu φ	10
II.3.2. La longitude du lieu L.....	10
II.4. les coordonnées du soleil par rapport à un observateur.....	10
II.4.1. Le repère équatorial.....	11
II.4.1.1. La déclinaison du soleil.....	11
II.4.1.2. L'angle horaire.....	11
II.4.2. Le repère horizontal.....	12
II.4.2.1.La hauteur.....	12
II.4.2.2.L'azimut.....	13
II.5. Les paramètres externes d'installation	14
II.5.1. la puissance du rayonnement solaire.....	14
II.5.2. L'angle d'incidence.....	15
II.5.3.L'intensité du rayonnement solaire sur une paroi.....	16
II.5.3.1.Le rayonnement solaire direct.....	17

II.5.3.2. Le Rayonnement solaire diffus	18
II.5.3.3. Le rayonnement global.....	18
II.5.3.4. Le rayonnement réfléchi.....	18
II.5.4. Orientation optimale.....	19
II.5.5. L'emplacement.....	20
II.6. Le gisement solaire en Algérie.....	20
II.7. La présentation du logiciel Métronome.....	20
II.8. Conclusion.....	22

CHAPITRE III : Etude des Performances d'un Chauffe eau GTP

III.1. Introduction.....	23
III.2. Pour quoi le chauffe eau solaire ?.....	23
III.3. Les grandes familles de chauffe eau solaire.....	23
III.3.1. Un chauffe eau solaire à circulation naturelle (thermosiphon).....	23
III.3.2. Un chauffe-eau solaire à circulation forcée.....	24
III.4. Un chauffe eau solaire GTP.....	25
III.5. Les composante d'un capteur plan.....	26
III.5.1. Le capteur plan.....	26
III.5.1.1. Les capteurs plans vitrés.....	28
III.5.1.2. Les capteurs plans non vitrés.....	28
III.5.1.3. Le capteur à tube sous vide.....	28
III.5.1.1. Le caisson.....	29
III.5.1.2. Isolation thermique.....	30

III.5.1.3. L'absorbeur thermique.....	32
III.5.1.4. Le fluide caloporteur.....	36
III.5.1.5. LA Couverture transparente.....	36
III.5.1.6. Joint en silicone.....	38
III.5.2. Ballon de stockage.....	39
III.5.2.1. Un échangeur.....	40
III.5.3. Le support métallique.....	41
III.5.4. Tuyauterie vannerie.	42
III.6. Le principe de fonctionnement d'un chauffe eau solaire.....	43
III.7. L'entretien de chauffe eau solaire.....	44
III.8. Modélisation du chauffe eau solaire.....	44
III.8.1. Les différents paramètres influant sur le rendement du capteur solaire plan.....	44
III.8.1.1. Les paramètres externes.....	44
III.8.1.2. Les paramètres internes.....	45
III.8.2. Le bilan énergétique d'un capteur solaire plan.....	46
III.8.3. Les modes de transfert thermique.....	48
III.8.3.1. Convection.....	48
III.8.3.2. Conduction.....	49
III.8.3.3. Le rayonnement.....	49
III.8.4. Le transfert thermique au niveau du capteur.....	50
III.8.4.1. Expressions des coefficients de transfert.....	53
III.8.5. Evaluation des déperditions thermiques du capteur.....	53
III.8.5.1. Les Pertes à l'avant du capteur.....	54
III.8.5.3. Les Pertes par les faces latérales du capteur.....	55
III.8.6. Le bilan énergétique du réservoir.....	55

III.9. Etude hydraulique.....	56
III.9.1. Effet thermosiphon.....	56
III.10. Le rendement du chauffe eau.....	59
III.11. Conclusion.....	59

CHAPITRE IV : Etude Comparative et Simulation du ces dans trois sites.

IV.1. Introduction.....	60
IV.2. Présentation de logiciel TRNSYS.....	60
IV.2.1. L'environnement de TRNSYS.....	60
IV.2.2. Origine et concept.....	60
IV.2.3. Les outils de TRNSYS.....	61
IV.2.4. Applications.....	61
IV.3. Simulation du prototype.....	61
IV.3.1. Dimensionnement de l'installation de production d'eau chaude solaire.....	63
IV.3.1.1. Les paramètres du capteur.....	63
IV.3.1.2. Les paramètres du ballon de stockage.....	64
IV.3.1.3. L'orientation et l'inclinaison.....	65
IV.3.2. Le Modèle initial du chauffe eau solaire.....	67
IV.4. Présentations des résultats.....	69
IV.4.1. Installation du CES a Tamanrasset le 22 Janvier.....	69
IV.4.2. Installation du CES à Tamanrasset le 15 Juillet.....	72
IV.4.3. Installation du CES Béchar le 22 Janvier.....	74
IV.4.4. L'installation du CES à Béchar le 15 Juillet.....	77
IV.4.5. L'installation du CES à Dar al beida le 22 Janvier.....	80
IV.4.6. Installation du CES à Dar Al Beida le 15 juillet	82
IV.5. Interprétation du résultat.....	84.
IV.5.1. Influence du rayonnement globale.....	85

IV.5.2. L'influence de la vitesse du vent.....	85
IV.5.3. L'influence de la température ambiante.....	86
IV.6. Conclusion.....	86
Conclusion général.....	87
Références bibliographiques.....	89

Chapitre II : Le rayonnement et le gisement solaire.

Figure II.1: L'énergie solaire.....	8
Figure II.2: Définition des coordonnées terrestre d'un lieu donné.	9
Figure II.3: l'influence de la latitude sur l'énergie solaire reçue.	10
Figure II.4 : La déclinaison du soleil durant l'année	11
Figure (II.5) : L'angle horaire.....	12
Figure II.6 : La hauteur et l'Azimut du soleil	13
Figure II.7. Diagramme solaire pour la hauteur du soleil en temps universel	13
Figure II.8 : L'Azimut du soleil pour des journées typiques de l'année	14
Figure II.9: La puissance solaire	15
Figure II.10 : L'Angle d'incidence et part du rayonnement solaire transmis au capteur.	16
Figure II.11: L'Inclinaison de 90° par rapport aux rayons du soleil (au centre) = production optimale.....	16
Figure II.12: Le Pourcentage du rayonnement intercepté par une paroi en fonction de l'angle d'incidence	17
Figure II.13: L'irradiation globale sur un plan donné.	19
Figure II.14: Le Moyenne annuelle de l'irradiation solaire globale reçue sur un plan incliné.....	20
Figure II.15: schéma de Méteonorm.....	21

Chapitre III : Etude des Performances du Chauffe Eau Solaire GTP.

Figure III.1 : Le CES à élément séparé	24
Figure III.2 : Le CES monobloc	24
Figure.III.3 : Un CES auto vidangeable	25
Figure.III.4: UnCESàcirculationforcée	25
Figure III.5 : Un Chauffe eau solaire de GTP.....	26
Figure III.6 : Un capteur plan.	27

Figure III.7 : Un capteur solaire vitré.....	22
Figure III.8 : Le capteur plan non vitré.	22
Figure III.9 : Le capteur à tube sous vide.	29
Figure III.10 : Le caisson.....	30
Figure III.11 : L'Isolation thermique.	30
Figure III.12 : La mousse polyuréthane.	31
Figure III. 13 :L'absorbeur thermique.....	33
Figure III.14 : La Plaque en aluminium.	34
Figure III.15 : Le serpentín en cuivre.....	34
Figure III. 16 : La peinture noire pour l'absorbeur.	35
Figure III.17 : Le vitrage.	37
Figure III.18 : Le ballon de stockage.	40
Figure III.19 : Le ballon à deux échangeuses.	41
Figure III.20 : Le support métallique.	42
Figure III.21 : Le Bilan thermique d'un capteur solaire plan.	48
Figure III. 22 : Les transferts au niveau de la vitre.	50
Figure III.23 : Les transferts au niveau de la lame d'air.	51
Figure III.24 : Les transferts au niveau de l'absorbeur.....	52
Figure III.25 :L'Effet thermosiphon.	56
Figure III.26 : L'effet de la température sur la masse volumique de l'eau.	58

Chapitre IV Etude comparative et simulation d'un chauffe eau solaire

Figure IV.1 :Schéma de fonctionnement de TRNSYS.....	61
Figure IV.2 : Un schéma sur le principe de fonctionnement d'un chauffe eau solaire.	62
Figure IV.3 : Le chauffe eau solaire GTP installé.....	63
Figure IV.4 : Les paramètres du capteur plan dans le TRNSYS.	64
Figure IV.5 : La Présentation débit.	64
Figure IV.6 : Les paramètres du ballon de stockage dans le TRNSYS.....	65
Figure IV.7 :L'angle d'inclinaison à Dar Al Beida le 22/1 65	65
Figure IV.8 :L'angle d'inclinaison à Béchar le 22/1 65	65
Figure IV.9 :L'angle d'inclinaison à Tamanrasset le 22/1..... 66	66

Figure IV.10: L'angle d'inclinaison à Dar Al Beida le 15/5.	66
Figure IV.11: L'angle d'inclinaison a Béchar le 15/5	66
Figure IV.12: L'angle d'inclinaison à Tamanrasset le 15/5.....	67
Figure IV.13: La configuration de chauffe eau solaire GTP sous TRNSYS simulation.....	68
Figure IV.14: Le rayonnement solaire à Tamanrasset le 22/01.	69
Figure IV.15 : Graphe de variation de la température ambiante.	70
Figure IV.16: graphes de variation du vent.....	70
Figure IV.17: Graphes de variation de température de sortie d'eau.....	71
Figure IV.18: Le rayonnement global a Tamanrasset le 15/05.	72
Figure IV.19 : Graphe de variation de la température ambiante.	72
Figure IV.20: Graphe de variation du vent.	73
Figure IV.21 : Graphes de variation de la température de sortie d'eau.	73
Figure IV.22: Le rayonnement global à Béchar le 22/01.....	74
Figure IV.23: Graphe de variation de la température ambiante.	75
Figure IV.24: Graphe de variation du vent.	75
Figure IV. 25: Graphes de variation de la température de sortie d'eau.	76
Figure IV.26: Le rayonnement global à Béchar le 15/05.....	77
Figure IV.27 : Graphe de variation de la température ambiante.	77
Figure IV.28: Graphe de variation du vent.	78
Figure IV.29: Graphes de variation de la température de sortie d'eau.	78
Figure IV.30: Le rayonnement global à Dar al Beida le 22/01.....	80
Figure IV.31: Graphe de variation de la température ambiante.	80
Figure IV. 32: Graphe de variation du vent.	81
Figure IV.33: Graphes de variation de la température de sortie d'eau.	81
Figure IV.34 : Le rayonnement global à Béchar le 15/05.....	82
Figure IV.35: Graphe de variation de la température ambiante.	82
Figure IV.36: Graphe de variation du vent.	83
Figure IV.37: Graphes de variation de la température de sortie d'eau.	83

Chapitre II

Tableau II.1: Les Constantes qui tiennent compte de la nature du ciel.	18
--	----

Chapitre III

Tableau III.1: les propriétés de quelques matériaux utilisés comme absorbeurs.	32
Tableau III.2: les propriétés de quelques matériaux utilisés comme absorbeurs.	33
Tableau III.3: Les propriétés de divers types de verre.	36
Tableau III.4: les caractéristiques de la vitre.	37
Tableau III.5: Les caractéristiques de joint en silicone.	39
Tableau III.6: Les caractéristiques de tube multicouche.	43
Tableau III.7: La variation de la masse volumique en fonction de la température.....	57

Chapitre IV

Tableau IV.1 : les coordonnees geographiques des trois sites	67
Tableau IV.2 : La Description des différents éléments constitutifs de ce système.	68
Tableau IV.3: les résultats obtenue a Tamanrasset.....	74
Tableau IV.4: Les résultats obtenus à Béchar.	79
Tableau IV.5: Les résultats obtenus à Dar al Beida.....	84

Symbole	Désignation	Unité
ϕ	flux de chaleur.	W
P_{dir}	La puissance du rayonnement direct par unité de surface	(W /m²).
P_{dif}	La puissance du rayonnement diffus par unité de surface	(W /m²).
P_{glo}	La puissance du rayonnement global par unité de surface	(W /m²).
E	Eclairement Energétique.	(W /m²).
Cp	La chaleur spécifique	Kj/kg.k
\dot{m}	Le Débit massique du fluide	Kg/m²
S	superficies du corps.	M²
I_o	la constante solaire et égale à 1367W/m ² .	W/m².
h	Le coefficient d'change par convection	W/ (m².K)
A	la surface du Corp.	m²
T_v	La température de la vitre.	°C
T_{amb}	La température ambiante.	°C
T_{abs}	La température de l'absorbeur.	°C
T_{ciel}	La température du ciel.	°C
U_{ar}	le coefficient de perte thermique vers l'arrière du capteur.	W/m²
Δp	la pression motrice due au phénomène de thermosiphon.	(Pa).
g	la gravité = 9.81m/s².	m/s²
t	Le temps.	s
P_u	La puissance utile transmise au fluide caloporteur.	(W)
P_p	pertes thermiques.	(w)

La nomenclature

h	La hauteur.	m
T_s, T_e	La température du fluide à la sortie et à l'entrée du capteur	°C
G	l'éclairement solaire global incident sur le capteur W/m ²	W/m²

Indice	Désignation
Dir	direct
Dif	diffus
Glo	Global
GTP	Grand travaux pétroliers
fe	Fluide à l'entrée du capteur
fs	Fluide à la sortie du capteur
f	Fluide caloporteur
amb	ambient
v	La vitre
air	L'air
abs	absorbeur
iso	isolant
p	perte
u	utile
av	avant
ar	arrière
lat	latérale
ST	Stockage

Lettre grecque	Désignation	Unité
α	Facteur d'absorption	-
τ	Facteur de transmission	-
σ	constante de Stefan Boltzmann	-
ε	l'émissivité d'un corps	-
λ	La conductivité thermique	W/m².K
ρ	La masse volumique	Kg/m³
η	Le rendement	%
β	L'angle d'inclinaison	°
ω	L'angle horaire	°

INTRODUCTION

GENERALE

La production d'énergie est un défi de grande importance pour les années à venir. Les sociétés industrialisées tirent plus profit de cette énergie même étant peu gâtés par le soleil ils trouvent moyen d'extraire cette énergie des sources fossiles. Le fait que cette dernière est peu recommandée, car sa consommation donne lieu à des émissions à effet de serre doit être remplacée par des énergies renouvelables, c'est une aubaine aux pays très ensoleillés dont l'Algérie doit axer leur politique de commercialisation de cette énergie gratuite prometteuse et non polluante.

Par énergie renouvelable, on entend des énergies issues du soleil, du vent, de l'eau ou encore de la biomasse. qui sont inépuisables, les énergies renouvelables regroupent un certain nombre de filières technologiques selon la source d'énergie valorisée et l'énergie utile obtenue. La filière étudiée dans ce mémoire est l'énergie solaire, utilisée depuis longtemps pour répondre à un certain nombre de besoins thermiques

Le chauffe-eau solaire est manifestement l'outil solaire le plus développé dans le monde, ils existent en effet par millions au Japon, en USA, par dizaines de milliers en France, et rare sont les pays où ils sont totalement inconnus, chez nous en Algérie le chauffe-eau solaire reste très peu utilisé malgré que les besoins en eau chaude dans tous les secteurs soient nombreux.

Notre choix s'est porté sur la solution du chauffe-eau solaire, compte tenu des avantages économiques, environnementaux et ainsi que le confort des personnes.

Notre Projet d'étude tranchera, sur laquelle des trois régions Tamanrasset, Béchar et Alger (Dar al Beida) où le rendement du chauffe eau solaire sera important ?

Cette étude est faite en évoquant dans le premier chapitre une étude bibliographique sur les chauffe-eau solaires, le deuxième chapitre traite le gisement solaires et quelques données sur le gisement en Algérie, ensuite, le troisième chapitre parle de la description générale et modélisation du chauffe eau solaire (composantes, principe de fonctionnement ...etc.). Dans le quatrième chapitre, Nous avons fait une étude comparative des performances de CES dans trois sites différents Algériens, par une simulation à l'aide d'un logiciel TRNSYS.

Chapitre I :

SYNTHÈSE

BIBLIOGRAPHIQUES

Les chauffe-eau solaires sont les systèmes les plus simples pour le chauffage de l'eau sanitaire. Nous allons citer dans le présent chapitre les principaux travaux effectués sur leurs modélisations théoriques et leurs expérimentations.

1.1.Revue Bibliographique

F. Bouhired (1998) [1] S'est intéressé à la réalisation d'un Régulateur de Température Destiné pour l'Appoint Electrique d'un Chauffe-eau Solaire. Dans son article, il présente un dispositif électrique de régulation de température destiné pour l'appoint électrique d'un chauffe-eau solaire. Quand la température de l'eau de la cuve de stockage du chauffe-eau descend en dessous d'une température minimale admise, le régulateur intervient pour enclencher l'appoint électrique. Si la température de l'eau atteint une température maximale admise, le régulateur intervient pour arrêter l'appoint électrique. La différence des deux températures seuil est de l'ordre de 5 °C.

M. Merzouk et N. Kasbadji Merzouk (1999-2000) [2] Se sont intéressés sur Le Chauffe-eau Solaire à Usage Domestique Analyse des Limites Technico - Economiques de l'Expérience Algérienne .Ils Ont travaillé sur Les performances du CES développé par la SEES dans les années 80, ont été estimés pour différents sites du pays. Les résultats ont été obtenus en utilisant la méthode f -chart modifiée et en considérant un stockage stratifié. Les coûts d'exploitation en considérant un appoint au gaz ont été comparés à ceux induits par l'usage tout gaz. Ont montré ainsi que la compétitivité du solaire par rapport au butane se trouve dopée par la récente politique des coûts d'énergie.

A. Hamid, S. Sami, D. Semmar, D. Lafri et R. Kharchi (2002-2003) [3] ont considéré à l, Etude et Réalisation d'une Installation Solaire de Chauffage d'Eau Collectif Cet article comporte deux parties, la première consiste à dimensionner, réaliser et expérimenter une installation de chauffage d'eau collectif d'une capacité de 400 litres.

La deuxième partie est consacrée à l'étude du système d'appoint et l'influence du coût de cette énergie sur l'optimisation et le dimensionnement de l'installation.

C. Buscarlet – D. Caccavelli – B. Khebchache (2005-2006) [4] Etude portant sur la fixation d'exigence minimum en matière de performance thermique des capteurs solaires et

des chauffe-eau solaires .Cette étude a pour objectif de contribuer à la fixation de seuils minimaux de performance thermique pour les capteurs solaires et les chauffe-eau solaires.

Y. Bai, G. Fraisse, L. Luo et B. Souyri (2006-2007) [5] se sont intéressé à l'Optimisation des performances énergétiques, économiques et environnementales des installations de production d'eau chaude solaire individuelles .Ce travail porte sur l'expérimentation, la simulation et l'optimisation du comportement d'une installation de chauffe-eau solaire individuel (CESI) en fonction des différents modes de gestion. Les résultats expérimentaux de la première partie ont permis de valider les modèles numériques, notamment pour les faibles débits. La comparaison numérique des performances énergétiques des différents types de CESI a été étudiée sous TRNSYS. Enfin, l'optimisation de performances énergétiques, économiques et environnementales d'un système fonctionnant en tout ou rien a été réalisée grâce au logiciel GenOpt (interface TrnOpt).

A. Diop SY (2006/2007) [6] S'est intéressé à la Conception et réalisation d'un chauffe-eau solaire .Dans un contexte de hausse de coût et d'insuffisance de l'énergie. Il s'est proposés de répondre aux besoins en eau chaude sanitaire d'une famille de 15 personnes à un coût abordable; ceci par le biais des énergies renouvelables du fait de leur disponibilité. Il a utilisé précisément l'énergie solaire. Ce projet vise à contribuer, de manière pratique, l'application des connaissances acquises ces trois dernières années par la conception et la réalisation d'un chauffe-eau solaire.

Messaouda et Kerkeni (2008-2009) [7] se sont penché sur la Contribution à l'étude d'optimisation d'un chauffe eau solaire type cylindro parabolique. Une étude des performances thermiques, a été menée sur un capteur stockeur cylindro parabolique fabriqué au CRTEN, dans le cadre d'un projet, ayant comme objectif principal, la réalisation et l'optimisation des chauffe eau solaires peu encombrants, d'utilisation simple et à faible coût, pouvant être introduit sur le marché Tunisien. Les résultats sont présentés en termes de rendement, coefficient de déperdition et quantité annuelle d'énergie délivrée. La comparaison de ce système avec un système classique composé d'un capteur plan et d'un ballon de stockage horizontal, a montré des performances thermiques comparables et une durée de remboursement correspondant environ à la moitié de ce dernier. L'ensemble de ses caractéristiques lui offre donc un rapport qualité prix concurrentiel.

F. Yettou, A. Malek, M. Haddadi et A.Gama (2009-2010) [8] se sont intéressés à l'Optimisation d'un système de production d'eau chaude. Dans ce travail ils ont insisté à étudier le dimensionnement de chauffe-eau solaire individuel en élaborant un programme informatique basé sur l'utilisation d'une base de données des capteurs plans et, puisque appliqué à l'Algérie, une modélisation de l'éclairement solaire, ou le choix entre deux modèles de calcul de l'éclairement, basés sur le facteur de trouble atmosphérique de Link, est étudié. Une comparaison entre des valeurs de l'éclairement solaires mesurées et des valeurs estimées sur les deux sites Algériens Ghardaïa et Bouzaréah est élaborée. Le programme informatique (logiciel) sera réalisé à l'aide d'un langage de programmation « orienté objet » et le dimensionnement est effectué en utilisant la méthode f-Chart. Le test de ce logiciel est indisponible et le relever des résultats est nécessaire pour validation du travail.

S. Bennaceur, B. Draoui, L. Bennamoun (2010) [9] Se sont intéressés à l'Etude expérimentale d'un chauffe eau solaire au sud ouest Algérien (Adrar). dans ce travail ils ont mené une étude expérimentale pour mesurer les variations de températures de la vitre, la plaque absorbante pour deux positions bien définies ainsi celui du rayonnement, la température ambiante et les températures d'entrée et de sortie du capteur solaire effectuées au niveau du site d'Adrar durant une journée précise (07/04/2005). Les résultats obtenus sont présentés sous formes de courbes montrant ainsi les bonnes performances que peut présenter un chauffe eau solaire dans la région sud ouest Algérien.

S.HAKEM (2010-2011) [10] Dans son projet d'Étude stochastique des performances journalières d'un chauffe eau solaire. Les données météorologiques mesurées sur une période de quatre années à Bouzareah ont été ajustées en considérant des modèles appropriés. En utilisant ces modèles, les performances journalières d'un chauffe-eau solaire à effet thermosiphon, disponible au CDER, ont été estimées théoriquement et établies expérimentalement. Le fonctionnement journalier du système est simulé par un pas de temps de 20 minutes aboutissant à un système matriciel exprimant les différentes températures en fonction de leur valeur à l'état précédent. Le vecteur d'excitation étant fonction de l'éclairement et de la température ambiante. Les évolutions théoriques des différentes températures ainsi que le débit de fluide caloporteur ont été produites mensuellement. La température moyenne de stockage atteint des pics compris entre 65°C à 75°C. Par ailleurs, les estimations relatives au rendement journalier du chauffe-eau solaire selon le mois considéré, varie de 10% à 69%. Le rendement annuel moyen est de l'ordre de 41%.

A. Berchide (2010-2011) [11] dans son projet d'Etude et expérimentation d'un chauffe-eau solaire de type capteur-stockeur. Il s'est intéressé à l'expérimentation et l'étude d'un chauffe eau solaire de type capteur-stockeur réalisé par les moyens de l'atelier de l'URER/MS (Adrar) adapté aux conditions climatiques hostiles du milieu saharien. Ce prototype est destiné à la production d'eau chaude sanitaire naturellement par rayonnement solaire. Dans un premier temps, il présente une recherche bibliographique sur le gisement solaire et les chauffe eau solaires. En suite il caractérise son système et leur prix de revient qui est proche de 16 000 DA à une surface de captation de 0.76 m². A la fin, il évalue les performances thermiques du système tel que : Le rendement journalier moyen dans les deux cas de calage (hivernale et annuel), qui est aux alentours ou bien dépasse la valeur de 50% . La quantité d'eau chaude produite à un débit fixé (1.5 l/min), il trouve que le système arrive à fournir 63 litres d'eau chaude dont la température supérieure à 50°C à l'afin du jour, et le même volume obtenu supérieure à 35°C après toute une nuit.

F. Sahnoune, M. Belhamel et M. Zelmat (2011-2012) [12] Se sont penché sur l'Etude comparative des performances thermiques d'un prototype de chauffe eau solaire pour deux sites Algériens. Le chauffe eau solaire est l'une des applications les plus importantes de l'énergie solaire, car il touche plusieurs grands secteurs consommateurs de l'eau chaude, tels que l'habitat, l'hôtellerie, les hôpitaux, les casernes, etc., qui peut satisfaire les besoins jusqu'à 80 %, il contribue à la réduction des gaz à effet de serre et à l'économie d'énergie. Pour cela, l'Algérie a mis en place un important programme pour le développement des chauffe eau solaires pour ces différents secteurs. Le but de cet article est d'étudier les performances thermiques des chauffe eau solaires à travers une étude comparative entre deux sites Algériens, en l'occurrence Alger et Adrar. Le dimensionnement des installations se fait par le logiciel Solo, développé par le CSTB. Les résultats sont représentés sous forme de tableaux et courbes.

M. Khoukhi [13] s'est penché à l'Etude théorique et expérimentale du chauffe eau solaire à thermosiphon de production nationale. L'objet de cette thèse est « ETUDE THEORIQUE ET NATIONALE ». L'expérimentation est réalisée en premier lieu au sein de la station .D'expérimentation des Equipements Solaires à ADRAR, ensuite au Centre de Développement des Energies Renouvelables à BOUZAREAH, dont le but est de comparer quelques paramètres intrinsèques du système à savoir :

- Le rendement instantané des capteurs ;
- Le rendement journalier du chauffe-eau ;

Les résultats du rendement instantané ont été produits selon les recommandations européennes.

Morrison et **Braun** [14] ont étudié des caractéristiques de modèle et d'opération de système du chauffage par thermosiphon avec le réservoir de stockage vertical ou horizontal. Ils ont constaté que l'exécution de système est maximisée quand le débit quotidien de collecteur est approximativement égal à l'écoulement quotidien de charge, et le système avec le réservoir horizontal n'a pas donné les mêmes résultats comme celui vertical.

Hobson et **Norton** [15] dans leur étude ont développé une courbe caractéristique pour un chauffe-eau directement de chauffage d'énergie solaire de thermosiphon d'individu obtenu à partir des données de 30 jours d'essais. En utilisant une telle courbe, la fraction solaire annuelle calculée était conforme bien à la valeur correspondante calculée de la simulation numérique. En outre, l'analyse était prolongée, et ils ont produit une méthode simple mais relativement précise de conception pour les chauffe-eau directs d'énergie solaire de thermosiphon.

CONCLUSION

Une étude détaillée de la littérature sur les chauffe-eau solaires a été réalisée, celle-ci nous a permis d'avoir un aperçu sur les développements dans les domaines clés des technologies pour améliorer les performances d'un système ou de concevoir un nouveau système. Ce qui suit sont les résultats de l'examen. Le chauffe-eau solaire fonctionne en mode circulation naturelle et forcée. Du point de vue de l'utilisation, le chauffe-eau solaire à thermosiphon occupe une bonne position dans les applications domestiques en raison de sa facilité d'utilisation sans recours à l'utilisation de toute énergie externe. Ainsi, plus de recherches ont été lancées en chauffe eau solaire thermosiphon pour améliorer leurs performances. Les performances d'un capteur solaire dépendent en grande partie de la qualité d'absorption et de transmission de chaleur de la plaque absorbante ainsi, plusieurs recherches ont été lancées pour proposer de nouvelles dispositions des plaques absorbantes afin d'augmenter les performances des capteurs solaires. Les performances d'un capteur solaire sont influencées par plusieurs paramètres. On trouve notamment : - Les paramètres externes comme le rayonnement solaire,

la température ambiante...etc. - Les paramètres internes (paramètres de construction) comme l'absorbeur, la couverture, le fluide de travail et la qualité d'isolation. - Les paramètres de position comme l'angle d'inclinaison du capteur.

Chapitre II :

LE GISEMENT SOLAIRE

II.2. INTRODUCTION

Selon la source du gisement dont on dispose, on peut répertorier toutes formes d'énergies en deux grandes catégories :

- Les énergies fossiles que l'on produit à partir des roches issues de la fossilisation des êtres vivants : pétrole, gaz naturel, houille et le charbon. Elles sont présentes en quantités limitées et non renouvelables
- Les énergies Renouvelables Comme leur nom l'indique, sont des sources inépuisables d'énergies offertes par la nature Elle-même et dont la maîtrise garantirait largement l'autonomie de la planète. On y trouve l'énergie solaire

Parmi toutes les énergies renouvelables, l'énergie solaire est la plus éminente, elle est également à l'origine de la plupart des sources d'énergies utilisées par l'homme.

L'énergie solaire atteignant une surface donnée dépend directement de l'orientation de celle-ci et de la position du soleil. Pour récupérer un maximum d'énergie en provenance du soleil, il est nécessaire d'orienter au mieux le récepteur par rapport aux rayons lumineux.

Dans ce présent chapitre, nous définissons quelques données nécessaires pour mon étude notamment les paramètres de position du soleil, en suite une description du rayonnement solaire, en fin nous donnons un aperçu général des facteurs influents sur l'irradiation incidentes sur une surface considérée.

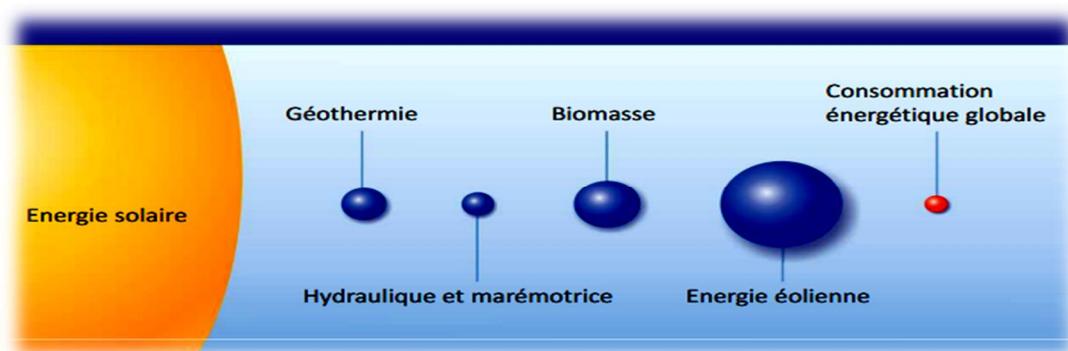


Figure (II.1): Le Soleil.

II.2. Mouvement Apparent Du Soleil

Le mouvement que paraît faire le Soleil en une journée vu par un observateur situé sur Terre est appelé "Le mouvement apparent du Soleil".

- **Le matin** : le Soleil est à l'Est, haut sur l'horizon, c'est le «lever du Soleil»
- **A midi** : le Soleil est positionné au Sud ou au Nord, et il est au plus haut de son trajet apparent
- **Le soir** : le Soleil apparaît à l'Ouest, bat sur l'horizon, c'est le «coucher du Soleil»

II.3. Les Coordonnées Géographiques D'un Site

Tout point de la sphère terrestre peut être repéré par deux coordonnées, appelées coordonnées terrestres, à savoir la latitude et la longitude voir la figure (II.2)

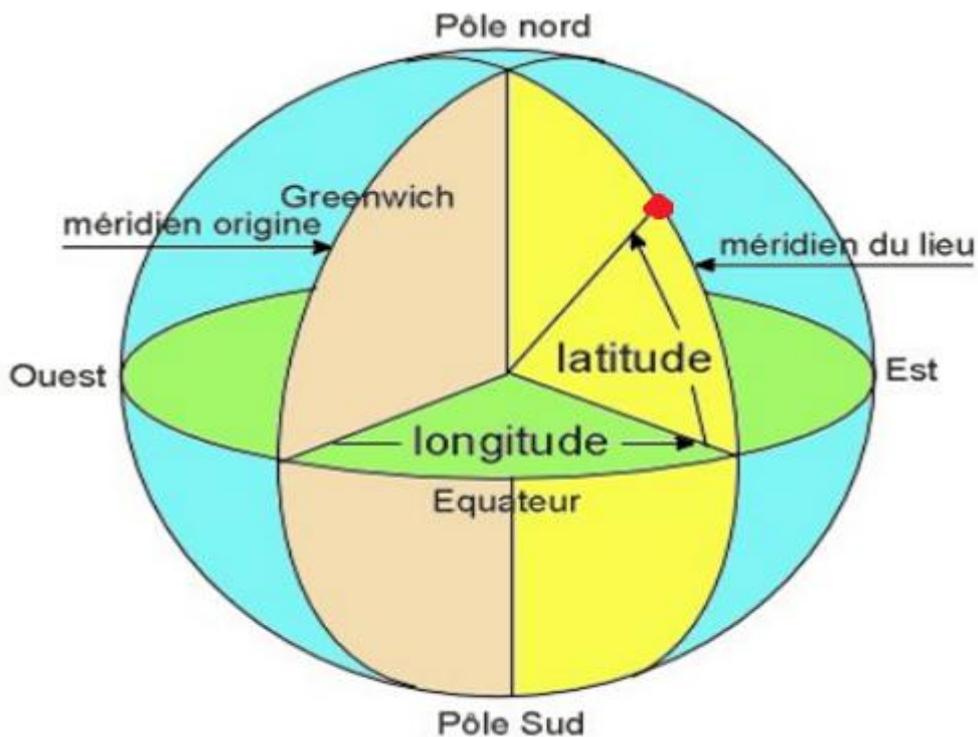


Figure (II.2): Définition des coordonnées terrestre d'un lieu donné. [18]. [19]

II.3.1. La latitude du lieu φ

C'est une valeur angulaire d'un point quelconque par rapport à l'équateur, qui varie de $\pm 90^\circ$

A la surface de la Terre, l'énergie solaire reçue dépend de la latitude, car du fait de la sphéricité de la Terre (et donc de la variation de l'angle d'incidence des rayons solaires reçus) un mètre carré de surface du soleil à l'équateur reçoit beaucoup plus d'énergie solaire qu'un m² de surface au pôle.

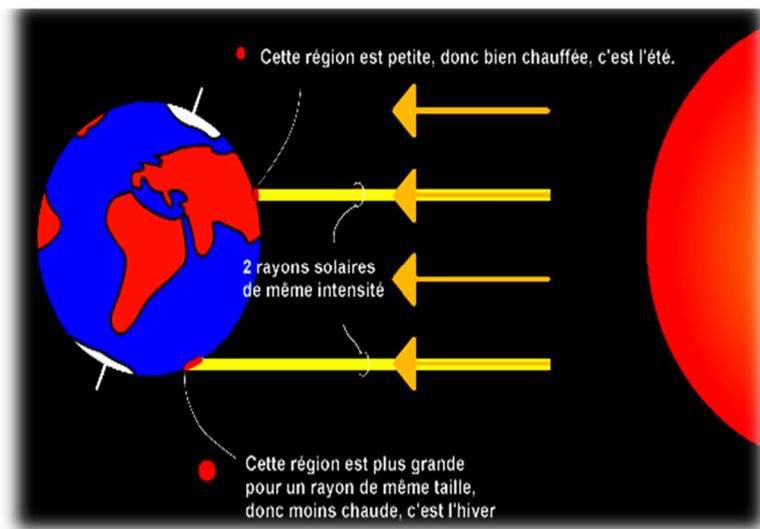


Figure (II.3): l'influence de la latitude sur l'énergie solaire reçue. [17]

II.3.2. La longitude du lieu L :

C'est l'angle entre le plan méridien passant par ce lieu et le plan méridien origine (Greenwich 0°).

II.4. les coordonnées du soleil par rapport à un observateur

Pour déterminer les coordonnées du soleil par rapport à un observateur situé sur la surface de la terre on définit deux repères :

II.4.1. Le repère équatorial

Le repère équatorial est un repère qui prend comme origine le centre de la terre et comme plan de référence le plan de l'équateur, La position du soleil dans le ciel est déterminée par deux coordonnées :

II.4.1.1. La déclinaison du soleil

Correspond à l'angle formé par le plan équatorial et la direction terre soleil.

Elle varie de $-23,45^\circ$ au solstice d'hiver à $+23,45^\circ$ au solstice d'été, et elle est nulle aux équinoxes

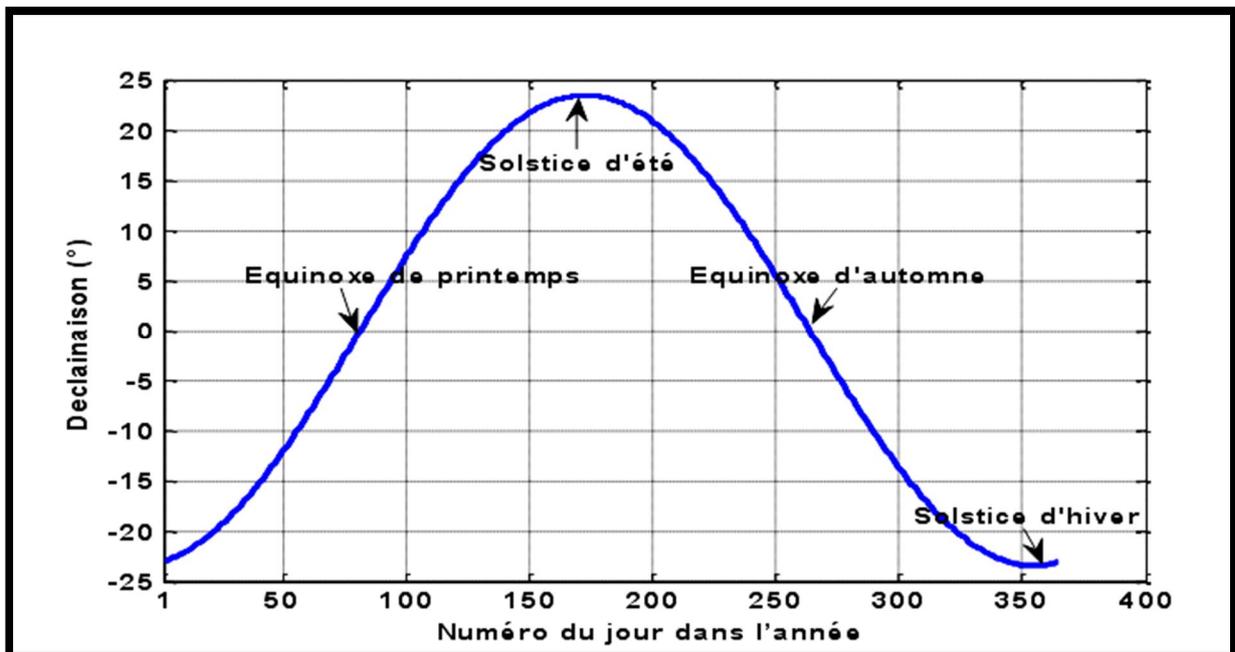


Figure (II.4) : La déclinaison du soleil durant l'année.

II.4.1.2. L'angle horaire

Correspond à l'angle compris entre la projection du soleil sur le plan équatorial et le méridien origine du lieu considéré passant par le sud.

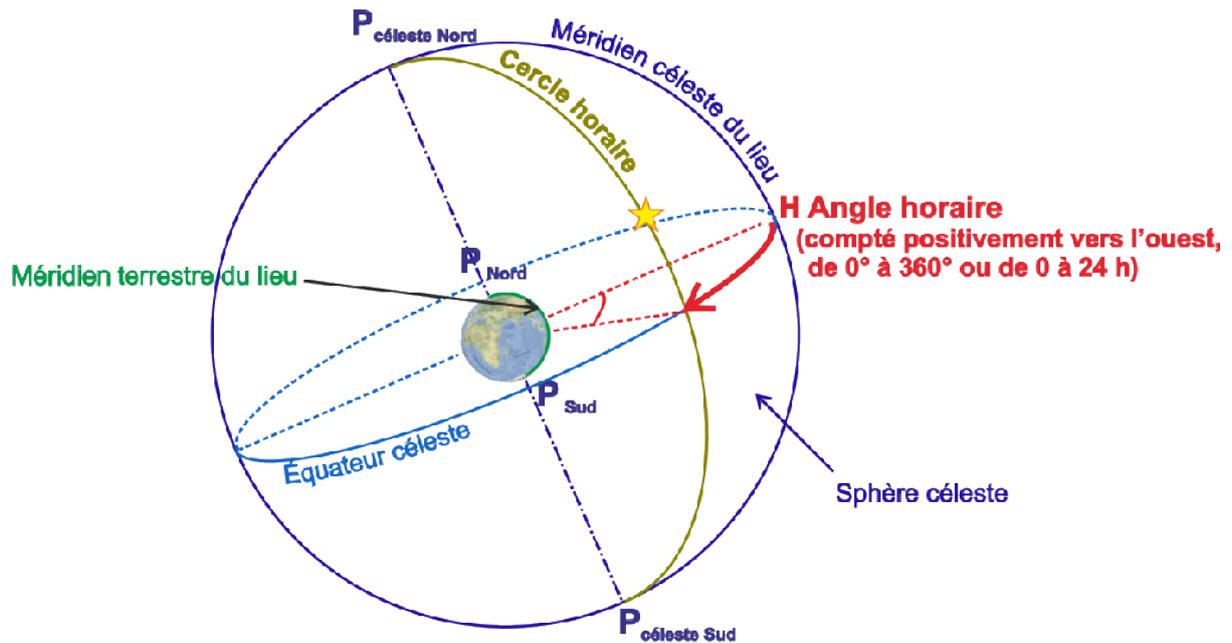


Figure (II.5) : L'angle horaire.

II.4.2. Le repère horizontal

Le repère horizontal est un repère qui prend comme origine le lieu de situation de l'observateur et comme plan de référence le plan de l'horizon astronomique.

La position d'un astre dans l'espace peut être repérée par ses coordonnées horizontales, à savoir la hauteur du soleil et son azimut

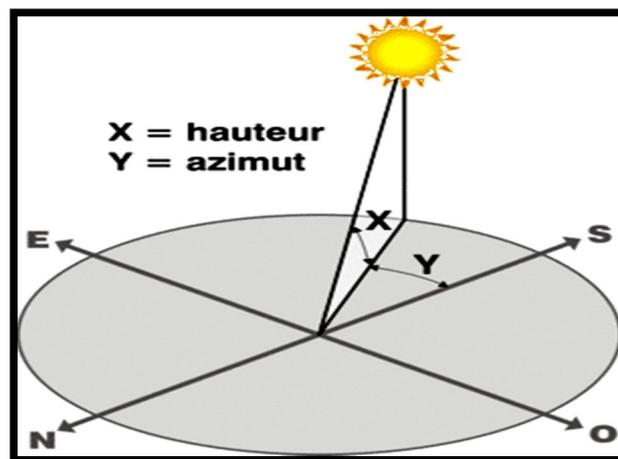


Figure (II.6) : La hauteur et l'Azimut du soleil.

- **La hauteur.**

Elle correspond à l'angle formé par le vecteur directionnel du soleil et sa projection sur le plan horizontal, figure (II.5), elle vaut 0° au lever et coucher du soleil et elle prend la valeur maximale à midi solaire.

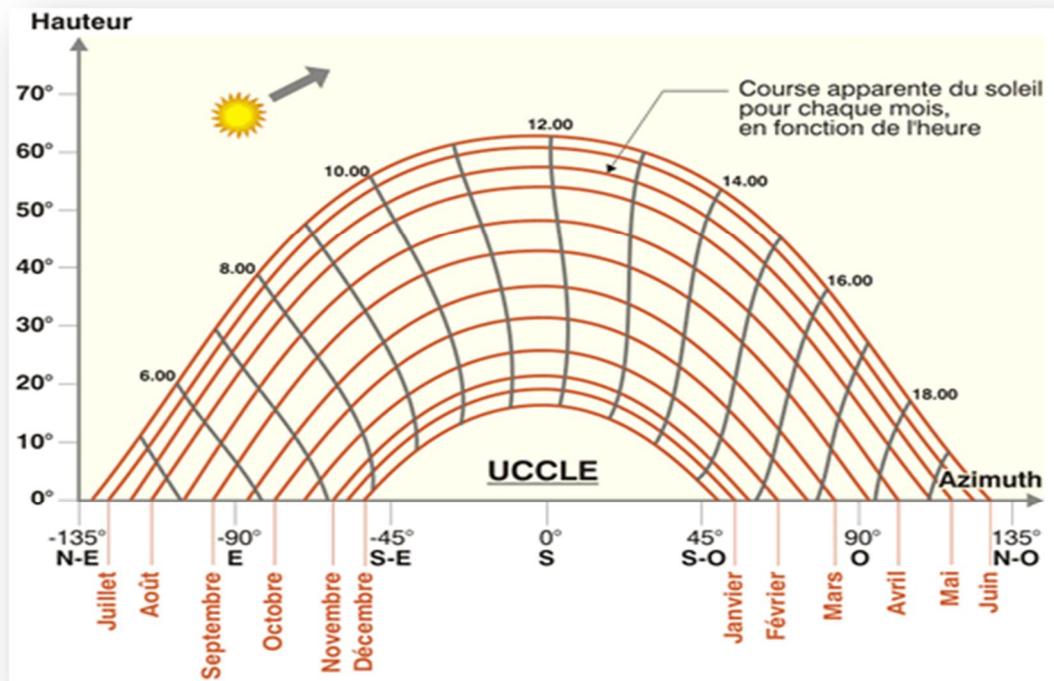


Figure (II.6) : Diagramme solaire pour la hauteur du soleil en temps universel

Le diagramme ci-dessus, présente la hauteur du soleil en temps universel, elle atteint un maximum de 62° le 21 juin à 12 heures (heure universelle), alors que le 21 décembre à 12 heures. Elle n'atteint que 16° . [36]

- **L'azimut " γ " :**

Est l'angle créé entre le plan vertical passant à la fois par le Soleil et par le lieu considéré, et le plan vertical N-S. Cet angle vaut 0° au sud et est conventionnellement positif vers l'ouest et négatif vers l'est.

L'évolution de l'azimut du soleil pour des journées exceptionnelles de l'année pour un site donné (Alger) est représentée sur la figure (II.7)

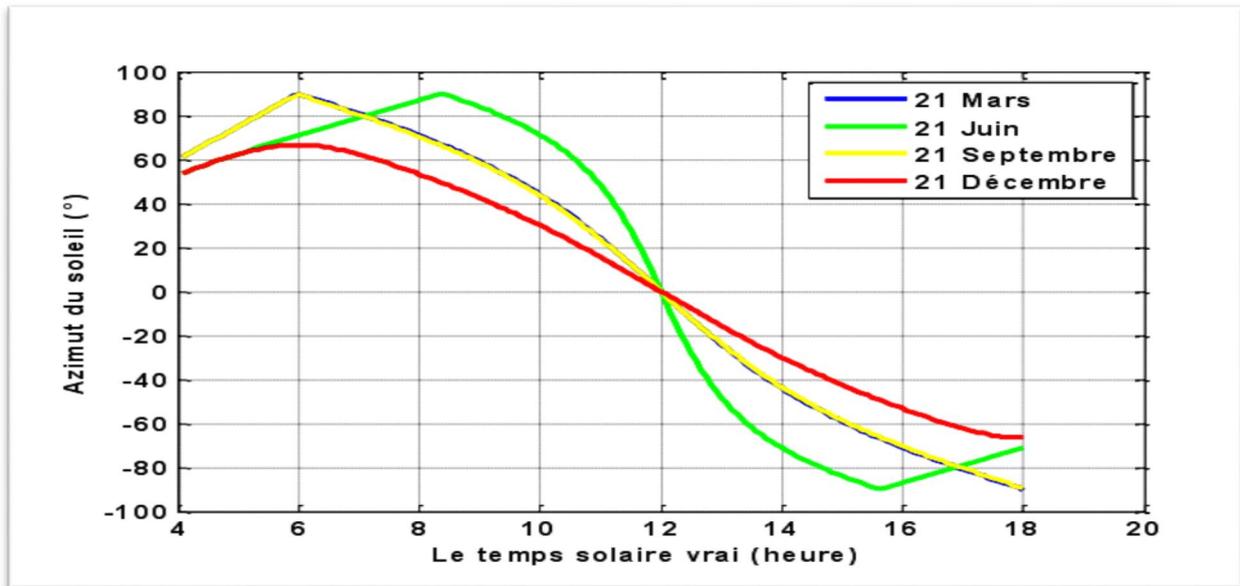


Figure (II.7) : L'Azimut du soleil pour des journées typiques de l'année.

II.5. Les Paramètres externe d'une installation

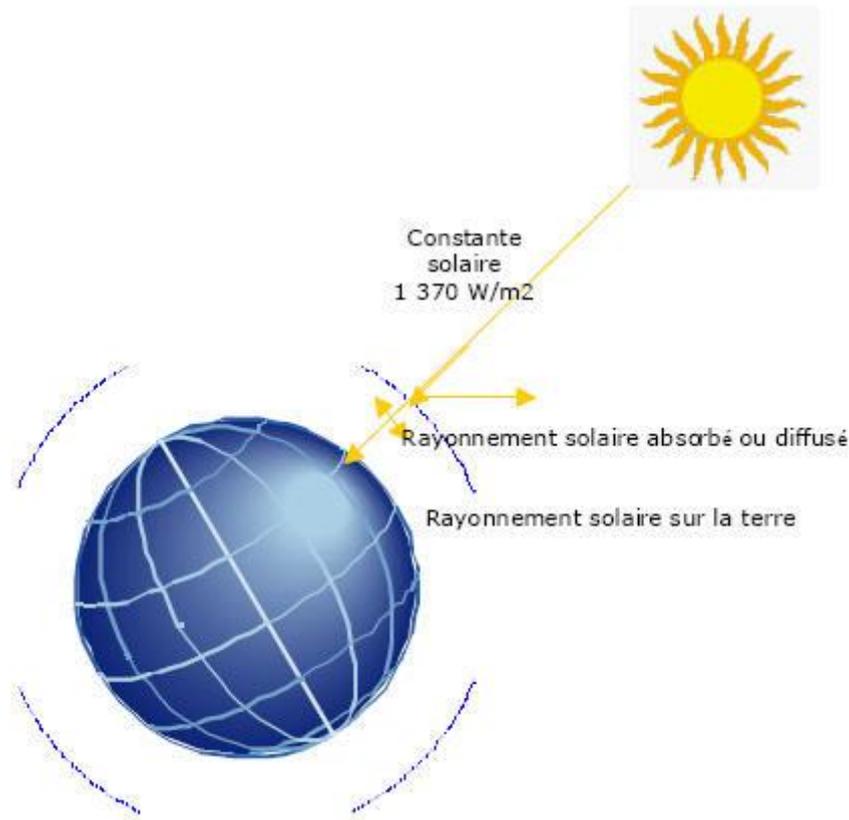
L'efficacité d'un CES dépend des caractéristiques intrinsèques (optiques et thermiques),:

- La puissance du rayonnement solaire.
- L'angle d'incidence du rayonnement solaire.
- L'intensité du rayonnement solaire sur une paroi.
- l'orientation du capteur.
- L'emplacement.

II.5.1. La puissance du rayonnement

La constante solaire de **1370 Watts/m²** est l'énergie atteignant une surface normale aux rayons solaires dans les couches supérieures de l'atmosphère. L'effet de la traversée de l'atmosphère qui réfléchit, absorbe ou diffuse des parties de ce rayonnement solaire réduit considérablement cette valeur.

La réduction est d'autant plus forte que la couche d'atmosphère est importante ; elle est donc une fonction directe de la hauteur du soleil. En été, la densité de flux atteignant une surface peut valoir dans les meilleures conditions de **900 à 1000W/m²**.



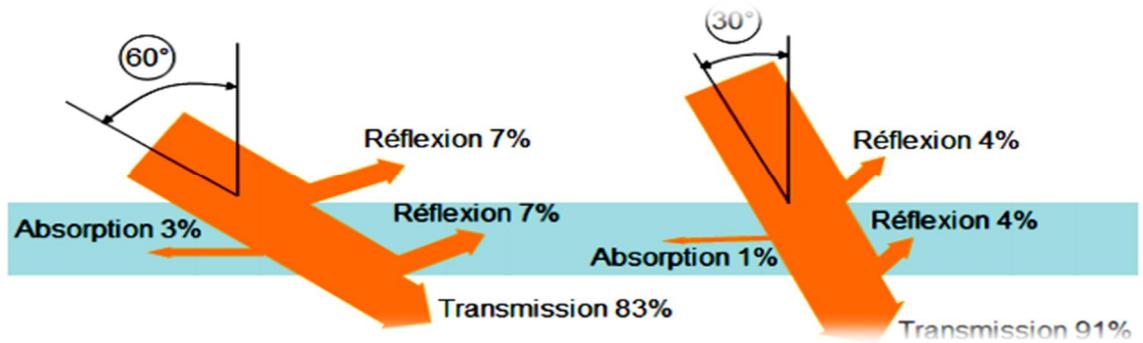
Figure(II.8) : La puissance solaire.

II.5.2. L'angle d'incidence

L'angle d'incidence, c'est l'angle formé par les rayons du soleil et le plan du panneau.

L'angle que font les rayons du Soleil avec une surface, détermine la densité énergétique que reçoit cette surface. Puisque le rayonnement solaire arrive sur la Terre sous forme d'un faisceau parallèle, une surface perpendiculaire à ces rayons intercepte la densité maximale d'énergie. Et si l'on incline la surface à partir de cette position perpendiculaire, son éclairement diminue

Comme on pouvait s'en douter, le rendement est maximal lorsque les rayons arrivent perpendiculairement au panneau.



Figure(II.9) : Angle d'incidence et part du rayonnement solaire transmis au capteur.

En générale, en hiver dans l'hémisphère nord, le soleil est bas par rapport à l'horizon ; à ce moment là, pour obtenir le meilleur rendement il faudra privilégier un grand angle à **60°**. Au printemps le meilleur angle est à **45°** environ et en été l'angle optimal est à **20°** .

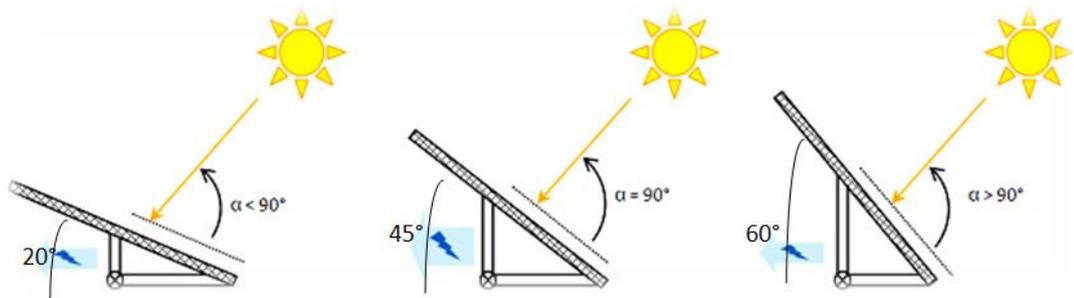


Figure (II.10): Inclinaison de 90° par rapport aux rayons du soleil (au centre) = production optimale.

Le tableau ci-dessous démontre l'influence de l'inclinaison sur le rayonnement incident dont on a parlé au préalable en donnant les pourcentages de lumière interceptée par une surface pour différents angles d'incidence.

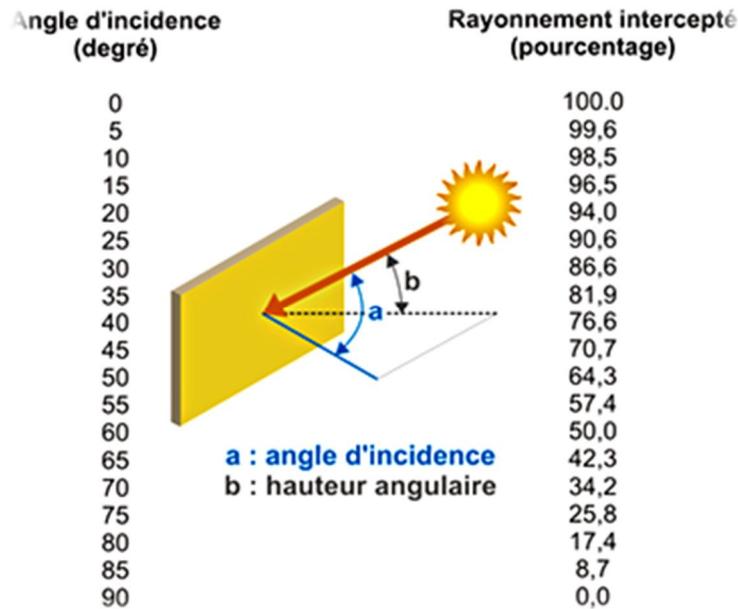


Figure (II.11) : Pourcentage du rayonnement intercepté par une paroi en fonction de l'angle.

II.5.3. Intensité du rayonnement solaire sur une paroi

L'intégration de l'irradiance sur une journée donne l'énergie reçue, appelée irradiation (en kWh/m².j). Pour un plan donné, l'irradiation globale est la somme de trois composantes :

II.5.3.1. Le rayonnement solaire direct

Provenant directement du Soleil. Cette composante s'annule si le Soleil est caché par des nuages ou par un obstacle. L'état du ciel est défini par deux coefficients, **a** et **b** qui symbolisent le trouble atmosphérique du lieu où se trouve le capteur solaire. Pour un plan de réception quelconque, la puissance du rayonnement direct incident est exprimée par :

$$P_{dir} = P_{dir,h} \cos i \tag{II.1}$$

Ou: $\cos i = \cos \omega \cos \delta \cos (\varphi - \beta) + \sin \delta \sin (\varphi - \beta) \tag{II.2}$

$$P_{dir,h} = I_0 C \tau_{dir} \tag{II.3}$$

$$\tau_{dir} = A \tag{II.4}$$

$$\sin h = \cos \omega \cos \delta \cos \omega + \sin \varphi \sin \delta \quad (\text{II.5})$$

$$C = 1 + 0.0334 \cos(-2) \quad (\text{II.6})$$

a, b sont des constantes qui tiennent compte de la nature du ciel. Elles sont données d'après le tableau suivant :

Tableau (II.1): Les Constantes qui tiennent compte de la nature du ciel. [22]

Nature du ciel	a	b
Ciel pure	0.87	0.26
Conditions normales	0.88	0.26
Zones industrielles	0.91	0.46

II.5.3.2. Le Rayonnement solaire diffus

Des rayons lumineux issus du Soleil traversent les nuages et parviennent dans toutes les directions, qu'il fasse beau ou pas, se diffusent sur toute la surface de la Terre. Il contribue à l'éclairement mais ne peut pas être concentré (à l'inverse du rayonnement direct)

Le flux diffus reçu par la surface du capteur, est donné par :

$$P_{\text{dif,h}} = P_{\text{dif,h}} \quad (\text{II.7})$$

Ou:

$$P_{\text{dif,h}} = I_0 C \sin h \tau_{\text{dif}} \quad (\text{II.8})$$

$$\tau_{\text{dif}} = 0.2710 - 0.2939 \tau_{\text{dif}} \quad (\text{II.9})$$

II.5.3.3. Le rayonnement global : Est le rayonnement émis par le soleil incident sur un plan donné, et c'est la somme du rayonnement direct et diffus.

$$P_{\text{glo}} = P_{\text{dif}} + P_{\text{dir}} \quad (\text{II.10})$$

II.5.3.4. Le rayonnement réfléchi : due au rayonnement renvoyé par le sol et l'environnement.

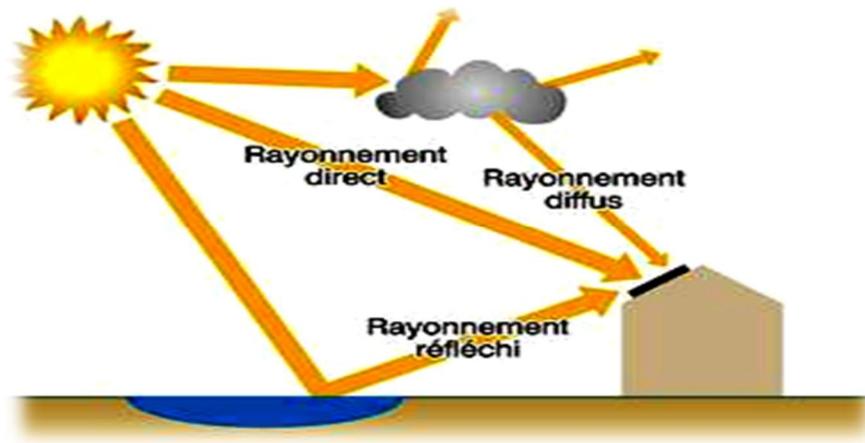


Figure (II.12):L'irradiation globale sur un plan donné.

II.5.4. Orientation optimale

Sur terre, le soleil se lève à l'est et sa course passe par le sud pour finir à l'ouest, que vous habitiez dans l'hémisphère nord ou dans l'hémisphère sud.

C'est dû à la rotation de notre astre et à la façon dont il tourne par rapport au soleil

Globalement, les rayons du Soleil viennent donc plus du Sud que des autres directions; d'autant plus qu'à midi, lorsque le Soleil est au zénith et donc plein Sud, le rayonnement est le plus intense.

Pour l'orientation, c'est relativement simple : du moment que l'horizon est dégagé, il faut orienter le panneau solaire vers le sud, si vous êtes dans l'hémisphère nord c'est vers le nord, si vous êtes dans l'hémisphère sud. En ce qui concerne l'Algérie, elle se situe dans l'hémisphère Nord à une latitude de 36° environ, le Soleil au zénith est donc vers le Sud.

De ce qui précède la meilleure orientation pour un panneau solaire est vers le Sud.

II.5.5. L'emplacement

Une bonne orientation et une bonne inclinaison ne suffisent pas à garantir un ensoleillement optimal.

Il convient de vérifier que des obstacles proches ou lointains (arbres, bâtiments) ne viennent pas porter d'ombres pénalisant l'ensoleillement reçu sur le capteur. Ils doivent être posés dans un lieu adéquat ou aucun obstacle n'influencerait sa production optimale

II.6. LE GISEMENT SOLAIRE EN ALGERIE

L'Algérie possède un gisement solaire parmi les plus élevés dans le monde, la durée moyenne d'ensoleillement dans le Sahara algérien est de **3500** heures, ce potentiel peut constituer un facteur important de développement durable dans cette région, s'il est exploité de manière économique, le tableau suivant indique le taux d'ensoleillement pour chaque région de l'Algérie de par sa situation géographique,

La durée d'insolation sur la quasi-totalité du territoire national dépasse les **2000** heures annuellement et atteint les **3900** heures (hauts plateaux et Sahara). L'énergie reçue quotidiennement sur une surface horizontale de **1 m²** est de l'ordre de **5 KWh** sur la majeure partie du territoire national, soit près de **1700 KWh/m²/an** au Nord et **2263 KWh/m²/an** au sud du pays.

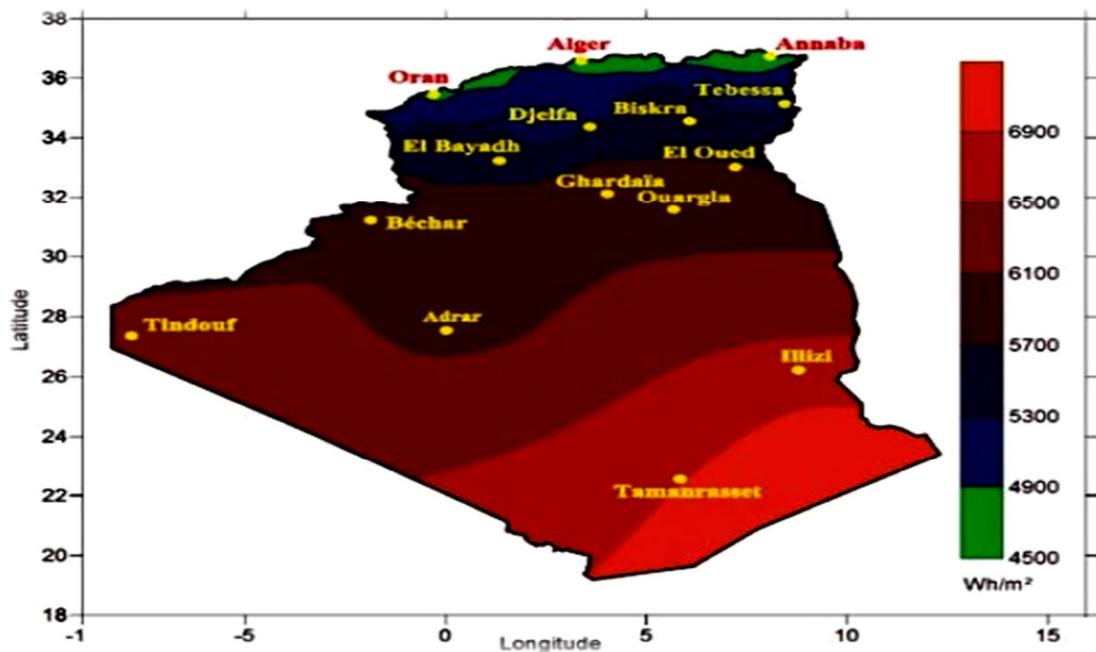


Figure (II.13): La Moyenne annuelle de l'irradiation solaire globale reçue sur un plan incliné.

II.7. La présentation du logiciel Meteonorm

Meteonorm 6.0 contient une base de données climatique fournie par 7 756 stations réparties dans le monde entier. Les valeurs horaires d'insolation globale, la température ainsi que d'autres paramètres météorologiques peuvent alors être générés à partir d'elles, par l'intermédiaire des algorithmes de calcul inclus dans le programme. L'utilisateur peut importer ses propres données de mesure ou interpoler des données météorologiques pour n'importe quel point de la surface du globe, à partir des stations connues les plus proches. Ces valeurs horaires peuvent être converties pour des surfaces d'inclinaison quelconques. L'influence d'un horizon éloigné peut être modélisée à l'aide d'un éditeur graphique..

Le programme permet à l'utilisateur de définir lui-même le format de sortie des données. Un ensemble d'interfaces vers des programmes de simulation connus (exemple : PV*SOL et T*SOL) est déjà prédéfini.

Un manuel d'utilisation exhaustif en format PDF (en version anglaise) est intégré au CD livré. L'utilisateur a le choix entre les langues suivantes pour l'interface du logiciel : l'allemand, l'anglais, l'espagnol, l'italien et le français.

Meteonorm est un produit de la société **Meteotest** basée à Berne (Suisse)



Figure II.14: schéma de Méteonorm.

II.8.CONCLUSION

Dans ce chapitre, on a étudié brièvement le soleil, son rayonnement reçu au niveau de la terre et sa position pour une quantité d'irradiation incident sur une surface considérée, on a définie quelques données astronomiques nécessaires pour cette étude et on a introduis quelques données sur le gisement solaire en Algérie et par sa situation géographique, l'Algérie possède un gisement solaire le plus important de tout le bassin Méditerranéen.

Chapitre III :

ETUDE DES PERFORMANCES D'UN CHAUFFE EAU SOLAIRE

III.1. INTRODUCTION

L'Entreprise Nationale des Grands Travaux Pétroliers (**ENGTP**) est une filiale à **100 %** de l'entreprise pétrolière Algérienne, Sonatrach. Implantée au niveau des principaux pôles industriels au Nord du pays et au niveau de l'ensemble des 399 champs pétroliers et gaziers au Sud, **ENGTP** est leader en Algérie en matière de construction des ouvrages et installations industrielles. Son idéal est de construire des installations industrielles destinées à la production, transformation, transport et distribution des hydrocarbures.

Vu que l'Algérie possède un bon gisement solaire, **L'ENGTP** a consacré cette énergie en réalisant un chauffe eau solaire **GTP** qui peut couvrir jusqu'à **40% à 60%** des besoins en eau chaude annuelle d'une famille.

III.2. POUR QUOI LE CHAUFFE EAU SOLAIRE ?

La consommation en eau chaude par foyer ne représente pas la plus grande part du budget « factures maison » mais peut parfois atteindre des montants que l'on préfère dépenser ailleurs

L'installation d'un chauffe-eau solaire est un investissement a long terme, qui s'avère très satisfaisant une fois son coût est amorti, Il permet de produire un tiers du besoin en eau chaude sanitaire et peut dans certains cas se présenter comme étant le seul système de production d'eau chaude d'une maison. Exemple : dans des zones non électrifiées.

Il approuve d'importantes économies, en douceur et pendant longtemps. À cela s'ajoute la participation à la préservation de la planète, ce qui n'est pas à négliger dans le contexte actuel que nous connaissons.

III.3. LES GRANDES FAMILLES DE CHAUFFE EAU SOLAIRE

III.3.1. Chauffe eau solaire à circulation naturelle (thermosiphon)

Sous l'effet d'un rayonnement solaire, l'eau contenue dans le capteur s'échauffe et sa densité diminue, selon le principe de gravitation elle s'élève dans le circuit et elle est remplacée par de l'eau plus froide (et donc plus lourde) en provenance du ballon. C'est l'effet thermosiphon. Pour que la

circulation du fluide dans le circuit soit assurée, le ballon de stockage doit être obligatoirement placé plus haut que les capteurs selon une hauteur prédéfinie.

Il se peut que l'eau soit sensible au gel, ce qui fait qu'il est nettement conseillé pour les pays chauds

Selon la disposition du ballon de stockage par rapport aux capteurs on distingue les CESI thermosiphon Monobloc et les CESI thermosiphon à éléments séparés [31].

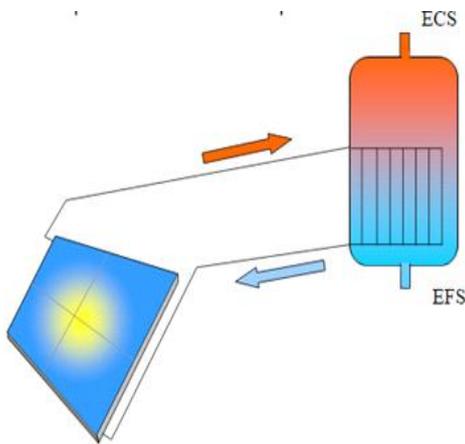


Figure III.1. CES à élément séparé.

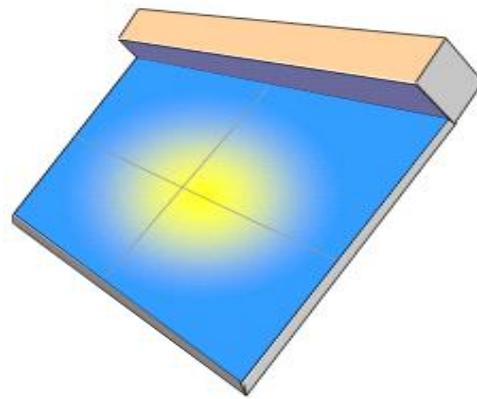


Figure III.2. CES monobloc.

III.3.2. Chauffe-eau solaire à circulation forcée

Ce type de chauffe-eau solaire à circulation forcée est adapté à toutes les différentes configurations. Ainsi, la position des panneaux par rapport au ballon n'est pas très importante.

Grâce à une pompe de circulation, l'eau chauffée est envoyée vers le ballon d'eau sans difficulté, Cependant cette pompe de circulation fonctionne à l'électricité.

Lorsque les rayons du soleil ne chauffent plus alors le ballon s'arrête de fonctionner et le circuit se vidange lui-même de manière automatique ce qui empêche le gel de se former. Et la circulation reprend une fois que les lumières du soleil reviennent

Pendant la saison froide, l'installation solaire doit être assistée par une source de chaleur d'appoint. Le chauffe-eau complémentaire est intégré directement dans l'installation solaire, ou est connecté à la source de chaleur par exemple un cumulus électrique ou une chaudière.

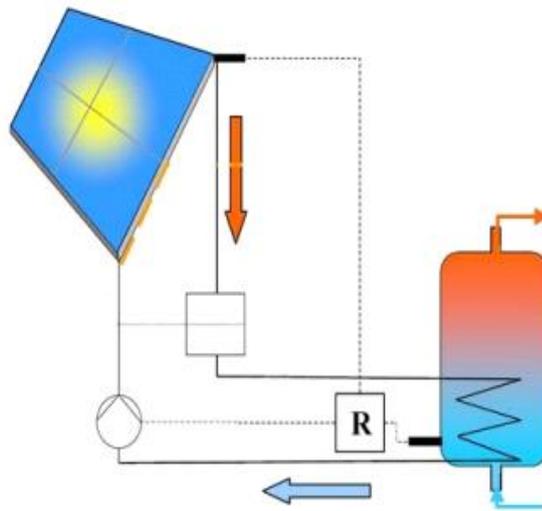


Figure III.3.CES auto-vidangeable.

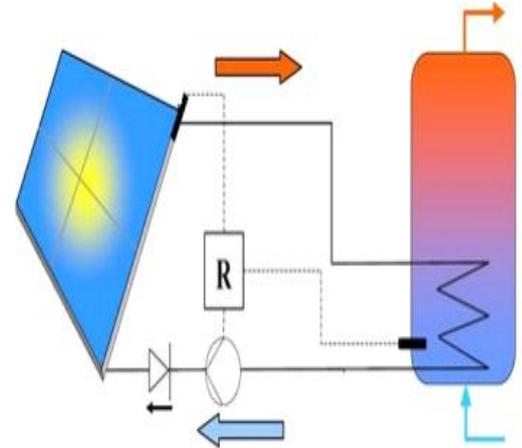


Figure III.4. CES à circulation forcée.

III.4. CHAUFFE EAU SOLAIRE GTP

Un dispositif hautement économique et écologique qui exploite une ressource naturelle propre, inépuisable et gratuite. Son principe repose sur la captation de l'énergie produite par les rayons du soleil et l'exploitation de cette énergie pour chauffer l'eau sanitaire.

Le chauffe eau solaire GTP est un chauffe eau individuel de type thermosiphon composé d'un ballon de stockage de capacité de **200L**, et un capteur solaire plan de surface **2m²**, et un support métallique, et de raccordement d'eau qui relie le ballon de stockage au capteur plan. Il peut satisfaire les besoins d'une petite famille de **(04) à (05)** personnes en eau chaude sanitaire,



Figure III.5 : Chauffe eau solaire de GTP.

III.5. Les composantes d'un capteur plan

III.5.1. Le capteur plan

Est la pièce maîtresse d'une installation de chauffage de l'eau sanitaire ou de chauffage des locaux. Il est chargé de transformer le rayonnement solaire en chaleur. De forme simple, la technologie plane est la plus utilisée. En fonction de leurs utilisations,

Les caractéristiques générales qu'un capteur solaire thermique doit réunir sont:

- Résistance à l'atmosphère extérieure.
- Résistance aux températures extérieures.
- Robustesse et longévité
- Facilité de montage

Il est constitué de :

- Un caisson métallique (tôle pré laquée) d'épaisseur **$e=1\text{ mm}$** qui porte tous les composants du capteur plan ;
- Une isolation thermique de mousse polyuréthane rigide d'épaisseur **$e=40\text{ mm}$** à l'intérieur du caisson métallique ;

- Une couche de feuille aluminium **e=1/10 mm** ;
- Une plaque absorbante de tôle aluminium plié **e=0.5 mm**
- Un serpentin de tube en cuivre de diamètre **Ø10/12** et **Ø20/22**, encastré dans la plaque absorbante en aluminium
- Une peinture solaire noir et mate absorbante à base de graphite.
- Joints d'étanchéité (en néoprène) d'épaisseurs **e=3mm** et **e=5mm** ;
- joint en silicone.
- Une plaque de verre solaire d'épaisseur **e=4 mm** transparent, trempé, à faible teneur en fer.
- Un cadre en cornière d'épaisseur **e=30mm**.
- Un circuit primaire
- Un circuit secondaire



Figure III.6 : Capteur plan. [22]

On retrouve trois types de capteurs plans: avec vitrage et sans vitrage, à tube sous vide [21]

- **Les capteurs plans vitrés** : Il est recommandé pour les moyennes températures de Service ; entre 30°C à 90°C . Il est utilisé généralement pour le chauffage de l'eau.



Figure III.7 : Capteur solaire vitré.

- **Les capteurs plans non vitrés** : Ce type de capteur est conseillé pour des basses températures de service ; moins de 40°C . Il est généralement utilisé pour le chauffage des piscines.



Figure III.8 : Capteur plan non vitré.

- **Le capteur à tube sous vide** : Ce capteur est conseillé pour des hautes températures de service ; plus de 80°C . Il est surtout appliqué pour le chauffage des locaux.



Figure III.9 : Capteur à tube sous vide.

III.5.1.1. Le caisson

Un caisson métallique (tôle pré laquée) d'épaisseur $e=1 \text{ mm}$ qui porte tous les composants du capteur plan

- Assure la protection arrière du capteur
- Participe à sa rigidité
- Intègre les points de fixation du capteur
- Soit en métal, soit en matière plastique
- Bonne tenue à la corrosion
- Prix de revient limité



Figure III.10 : Caisson.

III.5.1.2. Isolation thermique

Le capteur doit être isolé thermiquement avec des matériaux appropriés. Ceux-ci doivent avoir un faible coefficient de conductivité thermique, afin de limiter les pertes thermiques par conduction à travers les faces postérieures et latérales du capteur plan. L'isolation doit généralement avoir une épaisseur de l'ordre de **5 à 10 cm**. Les matières isolantes utilisées sont soit des laines minérales, soit des matières synthétiques (de laine de verre, mousses expansives de polyuréthane ou polystyrène). Elle doit résister aux hautes températures atteintes à l'intérieur du capteur

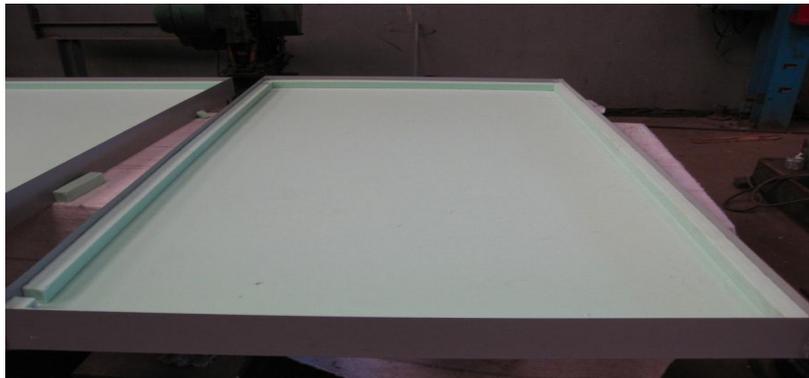


Figure III.11 : L'Isolation thermique.

Toutefois, il est important de préciser que la mousse polyuréthane offre plus d'avantage que les deux autres matériaux à savoir :

- La mousse polyuréthane (PU) est fabriquée localement par plusieurs sociétés publiques et privées ;
- Les panneaux de mousse polyuréthane sont fabriqués surplace (injection de deux fluides dans un moule) ;
- La mousse polyuréthane rigide contribue à la rigidité du capteur ;
- La mousse polyuréthane possède un pouvoir d'isolation thermique élevé



Figure III.12 : Mousse polyuréthane.

Tableau III.1: les propriétés de quelques matériaux utilisés comme absorbeurs. [22]

Description technique	Plaque en mousse polyuréthane rigide
	Couleur : jaune claire
	Très basse valeur de conductibilité thermique
	Consistance : mousse légère
	Nulle absorption d'eau
	Facile à usiner et découper
Caractéristiques dimensionnelle	Plaque de 994 × 1994 × 40 mm
	Plaque latérale 30 × 34 × 2000 mm
Autres caractéristiques	Densité : 20 à 35 Kg/m ³
	Plage de température d'utilisation : T° = +120°/ - 40°
	Coefficient de conductibilité thermique λ entre : 0.023 et 0.028
	Résistance à la compression : \parallel 200 ± 40 KPa, \perp 120 ± 40 KPa
	Température maximale : T° = 160° C

III.5.1.3. L'absorbeur thermique

C'est une plaque noire ayant trois fonctions qui lui incombent. Il s'agit de :

- Absorber le rayonnement solaire,
- Le transformer en chaleur,
- Transmettre cette chaleur au fluide caloporteur.

Cette plaque doit avoir les caractéristiques suivantes :

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

Pour absorber au maximum l'énergie rayonnée du soleil, il suffit d'avoir surface plane placée de façon judicieuse (étude de l'inclinaison et de l'orientation). Cette surface doit être dotée d'un coefficient d'absorption de la couche superficielle le plus élevé possible.

Les matériaux utilisés comme absorbeurs sont les métaux tels que le cuivre, les aciers, l'aluminium et les matières plastiques telles que le polyuréthane et le poly phényloxyd

Voici les propriétés de quelques matériaux utilisés comme absorbeurs :

Tableau III.2: les propriétés de quelques matériaux utilisés comme absorbeurs.

Matériaux	Température °C	λ Wm/°C
Aluminium	100	205
	200	230
	400	318
	600	423
Cuivre	20	393
Magnésium	20	154

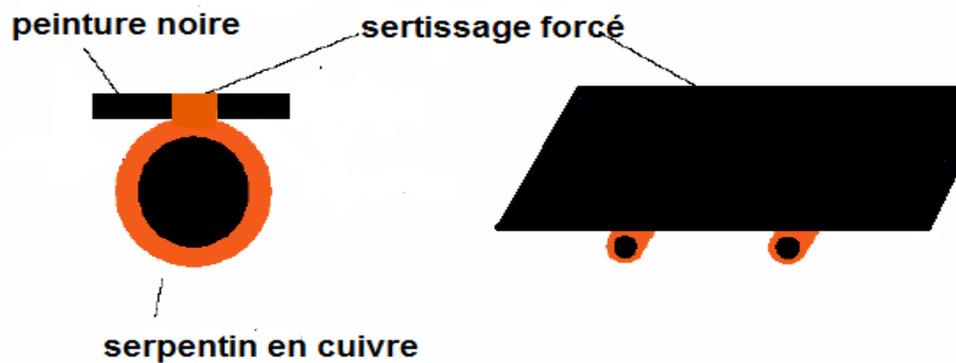


Figure III. 13 :L'absorbeur thermique.

L'absorbeur se compose de deux éléments : le premier élément est la plaque en aluminium et le deuxième élément est le serpentin en cuivre qui contient l'eau caloporteur (eau distillée)

- **La Plaque en aluminium**

C'est l'élément clé de la production de la chaleur sous l'influence de l'éclairement solaire. La chaleur produite est transférée au fluide caloporteur à travers le serpentin en cuivre se trouvant encastré dans la plaque en aluminium. Le contact entre la plaque et le serpentin est assuré par un sertissage forcé des tubes dans des rainures, il est d'épaisseur **0.5 mm**.



Figure III.14 : Plaque en aluminium.

- **Le serpentin en cuivre**

Le serpentin est constitué de (10) tubes de diamètre $\text{Ø } 10/12$ et de deux collecteurs en tube de diamètre $\text{Ø } 20/22$, à l'intérieure duquel circule le fluide caloporteur. On a choisi le cuivre dans la fabrication de serpentin, car il a une bonne conductivité thermique $\lambda = 390.10^3 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$.



Figure III.15: Serpentin en cuivre.

- **La peinture noire pour l'absorbeur**

Pour que l'absorbeur capte le maximum d'énergie solaire et la transforme en chaleur, elle doit être recouverte d'un revêtement spécifique. La peinture noire mate permet d'obtenir un coefficient d'absorption compris entre (α) **0.90** et **0.95** et un degré d'émission avoisinant $\varepsilon = \mathbf{0.05}$. La peinture doit :

- Résistance aux températures relativement élevées (jusqu'à 500 °C)
- Résistance à long terme à la chaleur pour des cycles répétés
- Résistance aux irradiations UV
- Bonne adhérence au cuivre et à l'Aluminium
- Résistance aux intempéries (cas de capteurs sans vitrages).
- Durabilité dans le temps (20 ans et plus) ;
- Impacte environnementale nul.



Figure III. 16 : Peinture noire pour l'absorbeur. [23]

III.5.1.4. Le fluide caloporteur

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

- L'air : qui est un fluide gratuit, mais ils possèdent une faible capacité calorifique en comparaison avec celle de l'eau (1 litre d'eau peut véhiculer une énergie équivalent à **3000** litres d'air).
- l'eau : qui possède les avantages suivants :
 - une grande chaleur massique
 - une faible viscosité.

III.5.1.5. La Couverture transparente

Du fait de sa résistance aux chocs, aux contraintes mécaniques (grêle, neige) et aux chocs thermiques (brusque refroidissement en cas d'orage), Le vitrage est un verre transparent à faible teneur en fer de **4 mm** d'épaisseur, On bénéficie alors du phénomène de l'effet de serre car le vitrage laisse passer le rayonnement solaire mais pas le rayonnement infrarouge émis par l'absorbeur. Cela limite alors le refroidissement par rayonnement. [23]

Les caractéristiques essentielles d'un vitrage sont :

- Le coefficient de transmission (τ).
- et l'émissivité (ϵ).

Le coefficient de transmission (τ) est essentiellement déterminé par la structure du vitrage (double ou triple, l'épaisseur des vitres).

Les propriétés de divers types de verre sont données au [tableau] :

Tableau III.3: Les propriétés de divers types de verre. [21]

Verre	Réflexion	Absorption	Transmission
Verre clair	8%	9%	83%
Verre basse teneur en Fe_2O_3	8%	2%	90%

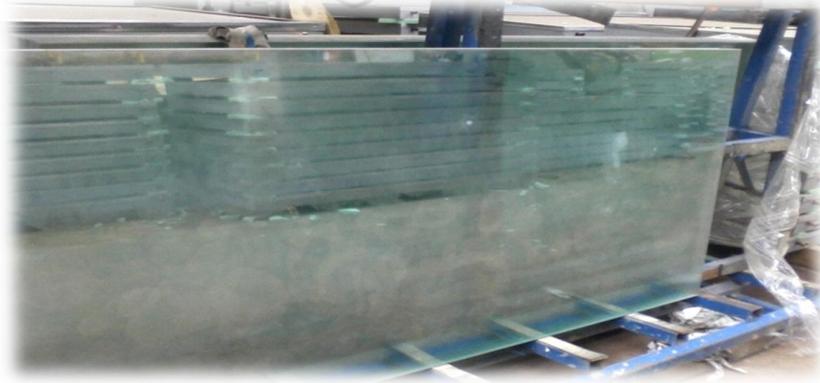


Figure III.17: Vitrage.

Tableau III.4: les caractéristiques de la vitre.

Caractéristiques dimensionnelles	Materiau : vitre solaire trempé extra claire.
	Dimension : 1982 × 1177mm × 4mm
	Poids au m ² : 10 Kg/m²
Lumières	(UT) Transmission des rayons ultra violetes 67%
	(TL) transmission lumineuse 80 ou 90 %
	(RL) réflexion lumineuse 8 %
Energie	(TE) transmission énergétique 85 %
	(RE) réflexion énergétique 8 %
	(AE) absorption énergétique 6.4 %
	(g) facteur solaire 87 %
Résistance	Résistance au choc mécanique.
	Résistance au choc thermique : jusqu'à 200°C
	Dilatabilité de la vitre : coefficient de déliation très faible.
	Stabilité dans le temps suffisantes.
Composition	Verre à faible teneur en fer et à base de graphite.
conformité	Selon la norme EN 410.1990.

Le capteur solaire capte au niveau de la plaque absorbante, le rayonnement solaire porteur d'énergie, **85%** de cette énergie passe vers l'absorbeur, et le **15%** restant sont des pertes, sont comme suit ; **8%** est une énergie reflétée par le verre, et le reste (**6.4 %**) est une énergie absorbée par ce dernier

III.5.1.6. Joint en silicone

Le joint en silicone sert à être appliqué sur la surface de verre solaire, destiné pour la fabrication de chauffe eau solaire car il contribue à une étanchéité efficace et évite les infiltrations

Description technique

- Résistance au cisaillement élevée, conservée lors du vieillissement.
- Faible fluage.
- Vitesse de réticulation très élevée.
- Excellente adhésion sur verre

Tableau III.5: Les caractéristiques de joint en silicone.

Caractéristiques techniques	Couleur : noir.
	Densité : 1.20-1.28 g/cm³ .
	Extrait sec : 100% .
	Viscosité : 7000Pa.s à 25°C .
	Mode de réticulation : par l'humidité.
	Vitesse de réticulation : environ 25 min .
	Dureté shore A (DIN 53505) : environ 50 .
	Contrainte à l'allongement : (DIN 53504) environ 7.5 MPa .
	Contrainte cisaillement : environ 2 MPa (après 24h selon DIN5014).
	Résistance à la déchirure (DIN 53515) : environ 6.5N/mm .
	Retrait (DIN 52451) : < 1% .
	Température d'application : 1°C à 40°C (50°C pour le grade UHV).
	Température d'utilisation : -40°C à 140°C .
	Courte exposition (1h maximum) : 130°C .
	Données spécifiques : tenue à l'eau et aux brouillards salins : bonne.
Résistance aux rayons ultra-violets : Excellente.	
Résistance aux acides et bases diluées : Bonne.	
Caractéristiques dimensionnelles	Largeur minimale : 5 mm .
	Largeur maximale : 30mm .
	Profondeur minimale : 5mm .
	Epaisseur : 5mm .

III.5.2. Ballon de stockage

C'est une enceinte cylindrique à simple paroi d'isolation thermique assurée par la mousse polyuréthane, cette cuve de stockage est un élément indispensable de chauffe eau solaire destinée au stockage de l'eau sanitaire provenant des capteurs solaires et la restituer selon les besoins d'utilisation.



Figure III.18: Ballon de stockage.

Il se compose de :

- Une cuve intérieure en tôle noire. d'épaisseur $e=3\text{ mm}$, elle a une capacité de **200 L**.
- Un échangeur de chaleur (jacket en double parois) en tôle galvanisée d'épaisseur $e=2\text{ mm}$ à une pression maximale admissible de service **3/6 bars**.
- Une isolation polyuréthane pour réduire le mieux possible les pertes de chaleur, d'épaisseur $e=50\text{ mm}$ et sa densité entre **43 et 45 kg/m³**.
- Une enveloppe extérieure matériau en acier galvanisé épaisseur **5/10mm**.
- Un thermoplongeur (résistance électrique **2000 W**) thermostat de régulation bipolaire.

III.5.2.1. L'échangeur de chaleur

L'échangeur solaire est le serpentín que nous voyons en bas du ballon solaire : il s'enroule autour de la cuve. Le liquide caloporteur chauffé par le soleil arrive dans ce tube, et transmet ses calories à l'eau sanitaire sans aucun contact direct.

La surface de l'échangeur tient une place prépondérante dans le rendement d'un chauffe-eau solaire : elle doit être correctement proportionnée à la surface des capteurs solaires

Se pose ensuite la question du nombre d'échangeurs, un second échangeur, voire même un troisième, peut équiper la partie haute du ballon solaire. Ce deuxième échangeur est simplement connecté à la chaudière. Ceci permet de confier un système d'appoint.



Figure III.19: Ballon à deux échangeuses.

- **Systèmes d'appoint**

En hiver ou lors de longue période de mauvais temps, la totalité de la production d'eau chaude ne peut être assurée par cette énergie solaire, un chauffe-eau solaire a besoin d'une énergie d'appoint. Globalement de mars à septembre, vous pouvez compter sur le solaire à quasiment 100%, mais le reste du temps, et notamment de décembre à février, il faut un dispositif d'appoint.

L'appoint peut être interne ou externe du ballon de stockage

L'appoint le plus classique consiste sinon en une résistance électrique plongée dans le ballon solaire.

- **Résistance électrique**

La capacité de cette résistance est de **2000 watt**, elle est à l'intérieure de la cuve de stockage.

III.5.3. Support métallique

Le support métallique est la base sur laquelle nous avons mis la cuve de stockage, et le capteur solaire. Il est en cornière **40×40×4 mm**, fer plat **40×4 mm**, boulons BHM **Ø 10×30**



Figure III.20: Support métallique.

III.5.4. Tuyauterie vannerie

Le produit de tube multicouche sert à raccorder la cuve de stockage d'eau chaude et le panneau solaire, qui rentre dans le cadre de la fabrication du chauffe eau solaire. Ce compose de :

- Claper anti-retour **15/21**.
- Soupape de sécurité **15/21**.
- robinet d'arrêt **15/21**.
- tube multicouche de diamètre : **20mm**.
- mamelon $\frac{3}{4}$.coudes **90°**en cuivre **Ø2**.

Tableau III.6: Les caractéristiques de tube multicouche.

Caractéristiques techniques	Volume d'eau : 0.113 litre/ml
	Température d'opération : -45-95 °C
	Température maximum d'opération : 95 °C
	Pression maximum a 95°C :10 bars
	Force minimum de cercle de tube : 2300 N
	Pression minimum d'éclat âge : 6 MPa
	Force hydrostatique a long terme : 2.7 Mpa
	Coefficient d'expansion linéaire : 0.026 mm/m.k
	Conductivité thermique interne : 0.43w/m.k
	Rudesse interne : 0.007 mm
Diffusion d'oxygène : 0 mg/litre	
Caractéristiques dimensionnelles	Diamètre extérieur : 16 mm
	Epaisseur de tube : 2 mm
conformité	répond aux normes européennes EN

III.6. LE PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT D'UN CHAUFFE EAU SOLAIRE

- **Circuit primaire (circuit fermé)**

Le capteur capte le rayonnement solaire porteur d'énergies ;au niveau de la plaque absorbante, cette énergie se transforme en chaleur pour chauffer l'eau caloporteur contenue dans le serpentin en cuivre, cette eau caloporteur est une eau distillée. Lorsqu'elle est chauffée sa densité diminue alors remonte par les tuyauteries vers l'échangeur de chaleur, ce dernier va céder sa chaleur au réservoir.

Une fois l'eau refroidie elle descend vers le capteur et elle rentre de nouveau, dans le capteur solaire pour être réchauffée. Ce cycle se poursuit tant que l'ensoleillement reste.

- **Circuit secondaire**

L'eau froide pénètre dans le réservoir par le fond et sort de la partie supérieure du réservoir. L'échangeur de chaleur (jacket) transfère l'énergie thermique à partir du circuit primaire indirectement vers l'eau dans le réservoir interne.

III.7. L'ENTRETIEN DE CHAUFFE EAU SOLAIRE

Pour le bon rendement des panneaux solaires nous devons procéder comme suit :

- Vérifiez tout de même qu'aucun objet (feuilles, branches) n'encombre les panneaux solaires ou bloque les rayons solaires et ainsi diminue leur efficacité
- Un nettoyage/rinçage régulier des panneaux maintiendra leur capacité de production maximale.
- Vérifiez régulièrement le bon fonctionnement de l'installation en faisant au moins une fois par mois un relevé du compteur et comparez ce relevé avec la production prévue
- Par temps ensoleillé vérification du fonctionnement du régulateur et le circulateur
- Vérification de l'état de propreté des capteurs

III.8. MODELISATION DU CHAUFFE EAU SOLAIRE

III.8.1. Les différents paramètres influant sur le rendement du capteur solaire plan

On distingue :

III.8.1.1. Les paramètres externes :

- Les paramètres d'ensoleillement
Eclairement énergétique dû au rayonnement global.
Position du soleil et durée d'insolation.
L'heure de la journée et la saison.
La position géographique du lieu considéré (latitude).
- Température ambiante.
- Vitesse du vent.

III.8.1.2. Les paramètres internes :**Les paramètres géométriques :**

- Paramètre de position : Inclinaison, orientation du capteur.
- La surface du capteur qui représente un paramètre important.
- Dimension de différentes parties : épaisseur, longueur et largeur.

Paramètres de fonctionnement

- La température d'entrée du fluide dans le capteur
- Le débit du fluide caloporteur
- La température des différentes parties du capteur

II.8.2. Les Hypothèses

Dans l'étude on se base sur les hypothèses suivantes :

- Régime de fonctionnement du capteur dynamique est transitoire
- La couverture opaque au rayonnement infrarouge IR.
- Les surfaces d'échange de chaleur par rayonnement sont supposées grises et planes.
- La vitesse du fluide est uniforme.
- L'eau est choisie comme fluide caloporteur.
- La surface du capteur est uniformément éclairée.
- Ecoulement de chaleur unidimensionnel.
- Les pertes par rayonnements au fond et aux surfaces latérales de l'isolant sont supposées négligeables.
- L'air confiné dans le capteur est supposé stagnant et transparent.
- La température de la plaque absorbante est supposée égale à celle des tubes.

III.8.3. Le bilan énergétique d'un capteur solaire plan

Soit Q_{abs} l'énergie solaire absorbée par un capteur, une partie de celle-ci est récupérée par le fluide caloporteur, c'est l'énergie utile Q_u . Cette énergie peut être directement utilisée ou bien transférée vers un système de stockage.

Un capteur solaire est aussi sujet à des pertes thermiques. Une partie de l'énergie absorbée est transférée vers l'environnement sous forme d'énergie thermique principalement par convection et rayonnement. Ces pertes seront notées Q_p [26]

$$Q_{abs} = Q_u + Q_p \quad (\text{III.1})$$

En termes de puissance on aura :

$$P_{abs} = P_u + P_p \quad (\text{III.2})$$

- **La puissance absorbée P_{abs}** : Puissance incidente du rayonnement solaire absorbé par unité de surface. (W/m^2).

$$P_{abs} = E \alpha_a \tau_v \quad (\text{III.3})$$

Avec :

E : éclairement énergétique au niveau du capteur par unité de surface (W/m^2).

τ_v : Le coefficient de transmission de la vitre (%).

α_a : Le coefficient d'absorption (%).

- **La puissance utile P_u** : Puissance utile récupérée par le fluide caloporteur. (W/m^2).

$$P_u = \dot{m} C_p (T_s - T_e) \quad (\text{III.4})$$

Avec :

\dot{m} : Le débit massique du fluide caloporteur par unité de surface (kg/m^2)

C_p : Chaleur spécifique du fluide caloporteur ($J/kg \cdot ^\circ C$).

T_s, T_e : La température du fluide a l'entrée et a la sortie du capteur ($^{\circ}\text{C}$)

- Les pertes thermiques P_p en (W).

$$P_p = h_p (T_{\text{abs}} - T_{\text{air}}) \quad (\text{III.5})$$

Avec :

h_p : le coefficient global des pertes du capteur ($\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$).

T_{abs} : La température moyenne de l'absorbeur.

T_{air} : La température de l'air ambiant.

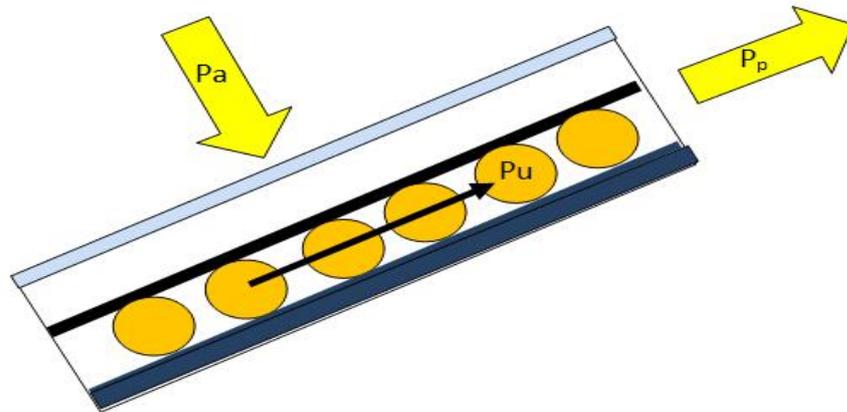


Figure III.21: Bilan thermique d'un capteur solaire plan.

III.8.4. Les modes de transfert thermique

III.8.4.1. Convection

Lorsque le transfert de chaleur s'accompagne d'un transfert de masse, il est appelé transfert par convection, Ce mode d'échange de chaleur existe au sein des milieux fluides ou lorsque un fluide circule autour d'un solide.

La quantité de chaleur δQ échangé par unité de surface S pendant l'intervalle de temps dt , peut s'écrire :

$$\delta \Phi = h(T - T_f) dS \quad (\text{III.7})$$

Avec :

h : Le coefficient local d'échange par convection. Il s'exprime en $W / (m^2.K)$

dS : Surface d'échange par convection m^2 .

T : la température du Corps [K].

T_f : La température du fluide [K].

III.8.4.2. Conduction

C'est le transfert de chaleur au sein d'un milieu opaque, sans déplacement de matière, sous l'influence d'une différence de température. La propagation de la chaleur par conduction à l'intérieur d'un corps s'effectue selon deux mécanismes distincts : une transmission par les vibrations des atomes ou molécules et une transmission par les électrons libres.

La théorie de la conduction repose sur l'hypothèse de Fourier : la densité de flux est proportionnelle au gradient de température :

$$\Phi = -\lambda S \text{grad}(T)$$

$$\varphi = -\lambda S \frac{\partial T}{\partial x} \quad (\text{III.8})$$

Avec

Φ : Le flux de chaleur par conduction [W].

λ : Le coefficient de conductibilité thermique du milieu [W /m.k].

S : Aire de la section de passage du flux de chaleur [m].

X : Variable d'espace dans la direction du flux [m].

III.8.4.3. Le rayonnement

Transport d'énergie sous forme d'ondes électromagnétiques dans le vide sans déplacement de matière

La puissance rayonnée par un Corp, est donnée par la relation :

$$P=S \varepsilon \sigma (T_P^4 - T_\infty^4) \quad (III.9)$$

Avec

P : Puissance rayonnée par un Corp. w.

ε : Facteur d'émissivité de la surface

σ : Constante de Stefan-Boltzmann ($5,6703\ 373. 10^{-8}W.m^{-2}.k^{-4}$).

S : Surface émettrice.m².

T_p : Température de la surface (k)

T_∞ : La température du milieu environnant la surface (k).

III.8.5. Le transfert thermique au niveau du capteur

- **Au niveau du vitrage**

La vitre reçoit une quantité d'irradiation solaire Q_1 et une chaleur transmise à partir du ciel (à une certaine longueur d'onde) par rayonnement Q_2 , et aussi à partir de l'air ambiant par convection (la surface interne du vitrage) Q_3 , et un échange par conduction avec le milieu extérieure considéré comme une chaleur dissipée Q_4 . [26]

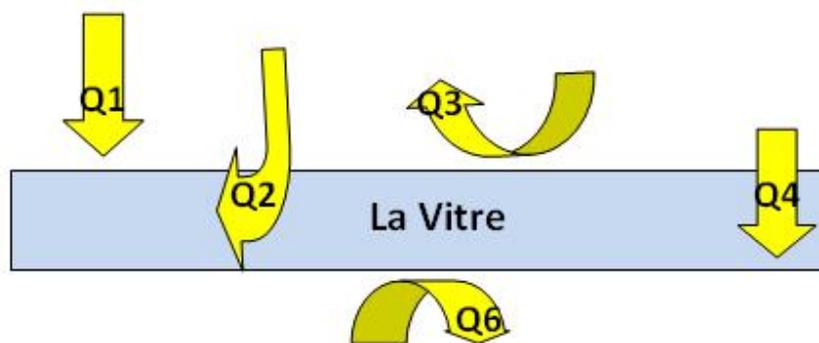


Figure III. 22: Les transferts au niveau de la vitre.

$$M_v c_p \frac{\partial T}{\partial t} = Q_1 + Q_2 + Q_3 - q_4 - Q_6$$

$$M_v c_p \frac{\partial T}{\partial t} = G S_v \alpha_v + h_{r_{v-ciel}} S (T_{ciel} - T_v) + h_{cv_amb} s_v (T_{amb} - T_v) - U_v S (T_{amb} - T_v) - h_{cv_air} s_2 (T_{air} - T_v) \quad (III.10)$$

Avec: $T_{ciel} = 0.0552 * T_{amb}^{(1.5)}$

- **Au niveau de la lame d'air**

Un transfert de chaleur par convection entre la vitre et l'air Q_6 et un échange de chaleur entre l'absorbeur et l'air par convection Q_8

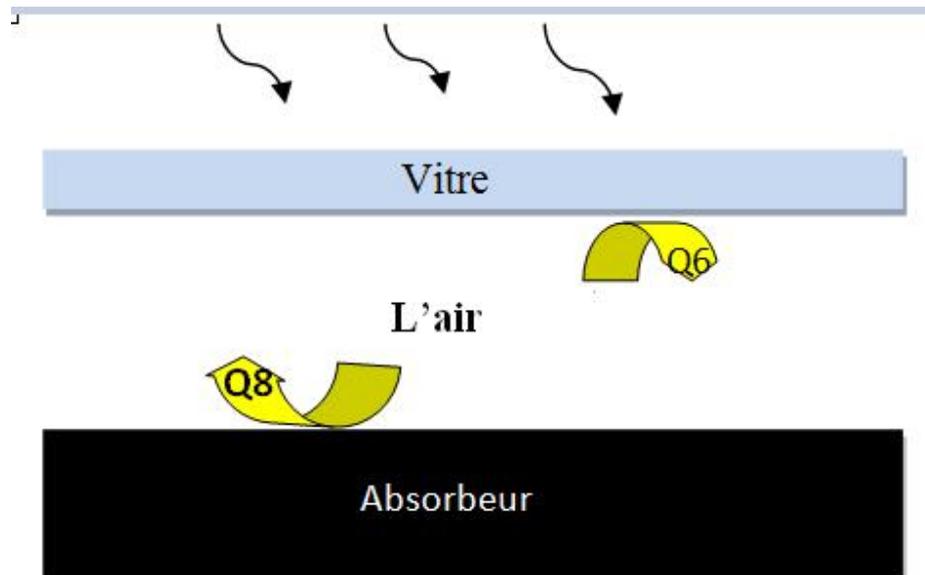


Figure III.23: Les transferts au niveau de la lame d'air.

$$M_{\text{air}} c_p \frac{\partial T}{\partial t} = Q_6 + Q_8$$

$$M_{\text{air}} c_p \frac{\partial T}{\partial t} = h_{c,v_air} S_{air} (T_{abs} - T_{air}) + h_{c,abs_air} S_{air} (T_{abs} - T_{air}) \quad (\text{III.11})$$

- **Au niveau de l'absorbeur**

L'absorbeur reçoit un flux de chaleur incident transmis par la vitre et absorbé par l'absorbeur Q_7 et une quantité de chaleur par rayonnement de la vitre Q_5 et une par convection de l'air Q_8 et transfère une quantité de chaleur au fluide caloporteur circulant dans les tubes par convection Q_9

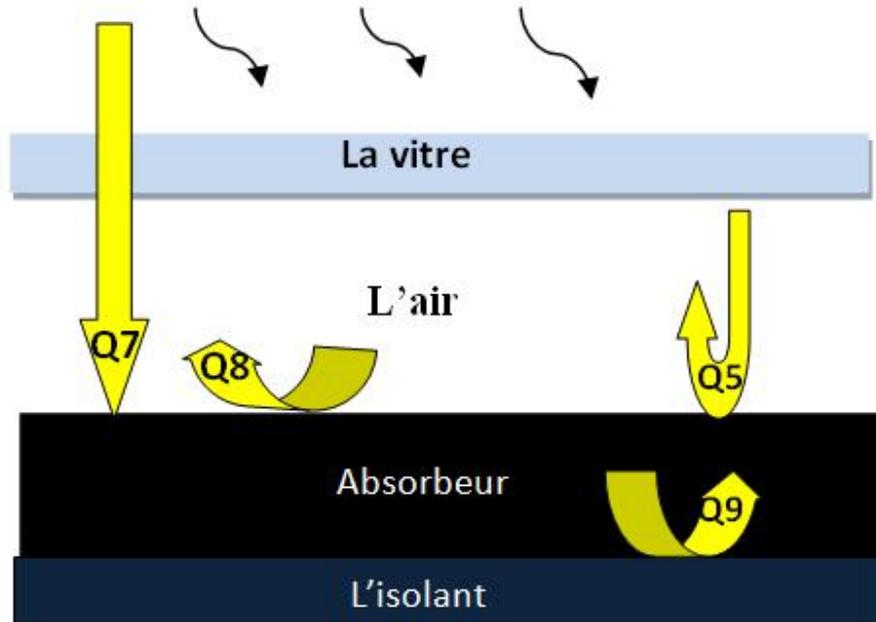


Figure III.24: Les transferts au niveau de l'absorbeur.

$$M_{abs} c_p \frac{\partial T}{\partial t} = Q7 + Q5 + Q8 - Q9$$

$$M_{abs} c_p \frac{\partial T}{\partial t} = \alpha_{abs} S_{abs} G \tau_{abs} + h_{rv_abs} S_1 (T_v - T_{abs}) + h_{cabs_air} S_{abs} (T_{air} - T_{abs}) - h_{cabs_f} S_{abs} (T_{abs} - T_f) \quad (III.12)$$

➤ Le bilan total donnant le comportement thermique du capteur est donné par un système d'équations différentielles ordinaires non linéaire qui s'écrit comme suit :

$$\left\{ \begin{array}{l} \bullet \quad M_v c_p \frac{\partial T_v}{\partial t} = G S_v \alpha_v + h_{r\ v\ Ciel} S (T_{Ciel} - T_v) + h_{Cv_amb} S_v (T_{amb} - T_v) - U_v S (T_{amb} - T_v) - h_{Cv_air} S_2 (T_{air} - T_v) \\ \bullet \quad M_{air} c_p \frac{\partial T_{air}}{\partial t} = h_{c,v_lar} S_{lair} (T_{abs} - T_{lair}) + h_{c,abs_air} S_{air} (T_{abs} - T_{air}) \\ \bullet \quad M_{abs} c_p \frac{\partial T_{abs}}{\partial t} = \alpha_{abs} S_{abs} G \tau_{abs} + h_{rv_abs} S_1 (T_v - T_{abs}) + h_{cabs_air} S_{abs} (T_{air} - T_{abs}) - h_{cabs_f} S_{abs} (T_{abs} - T_f) \end{array} \right.$$

III.8.5.1. Expressions des coefficients de transfert :

L'utilisation de la notion de coefficient d'échange radiatif et convectif est fort pratique, parce qu'elle simplifie la formulation mathématique des équations de transfert thermique dans le capteur

*Coefficient de transfert radiatif entre la vitre et la voûte céleste :

$$h_{r,Ciel} = [\sigma \cdot S \cdot (T_{ciel}^2 + T_v^2) \cdot (T_{Ciel} + T_v)] \quad \text{(III.13)}$$

*Coefficient de transfert radiatif entre la plaque absorbante et la vitre :

$$h_{r,v-abs} = \frac{\sigma \cdot (T_v + T_{abs}) (T_v^2 + T_{abs}^2)}{\left(\frac{1}{\varepsilon_{abs}} + \frac{1}{\varepsilon_v}\right) - 1} \quad \text{(III.14)}$$

*Coefficient de transfert convectif entre la vitre et l'air ambiant :

$$h_{C,v_amb} = 5.7 + 3.8 \cdot V_{vent} \quad \text{(III.15)}$$

*Coefficient de transfert convectif entre le vitrage et le l'air :

$$h_{c,v-f} = \frac{\lambda_{air} \cdot NU_v}{L} \quad \text{(III.16)}$$

*Coefficient de transfert convectif entre le fluide et la plaque de l'absorbeur :

$$h_{c,abs-f} = \frac{\lambda_{air} \cdot NU_{abs}}{L} \quad \text{(III.17)}$$

III.8.6. Evaluation des déperditions thermiques du capteur

Les pertes thermiques sont dues à la différence de température entre les différents constituants du capteur solaire ainsi qu'avec le milieu ambiant. Elles se manifestent selon les trois modes de transfert de chaleur décrits précédemment. Elles se divisent en Trois catégories : [26]

- Les pertes vers l'avant.
- Les pertes vers l'arrière.

- Les pertes latérales.

III.8.6.1. Pertes à l'avant du capteur

- **Echange de chaleur entre la vitre et le milieu extérieur**

Les pertes entre la vitre et le milieu extérieur sont dues essentiellement au transfert de chaleur par convection et par rayonnement.

$$Q_{p, av} = (h_{c, v-amb} + h_{r, v-ciel}) (T_v - T_{amb}) \quad (\text{III.17})$$

- Echange de chaleur entre la vitre et l'absorbeur

Comme précédemment, l'échange de chaleur entre les deux éléments se fait par convection et par rayonnement.

$$Q_{p, av} = (h_{c, abs-v} + h_{r, abs-v}) (T_{abs} - T_v) \quad (\text{III.16})$$

III.8.6.2. Pertes à l'arrière du capteur

Il est souvent possible de négliger la résistance par convection devant celle due à la conduction au sein de l'isolant [9], donc les pertes à l'arrière du capteur sont données par la formule suivante :

$$Q_{p, ar} = \frac{(T_p - T_{isolant})}{\frac{e_{isolant}}{\lambda_{isolant}}} \quad (\text{III.17})$$

$$\text{Ou : } U_{ar} = \frac{\lambda_{isol}}{e_{isol}} \quad (\text{III.18})$$

Avec :

U_{ar} : le coefficient de perte thermique vers l'arrière du capteur [W/m²].

λ_{isol} : La conductivité thermique de l'isolant [W / m °C].

e_{isol} : L'épaisseur de l'isolant [m].

III.8.6.3. Pertes par les faces latérales du capteur

Comme précédemment la résistance par convection est négligée devant celle due à la conduction au sein de l'isolant, donc les pertes par les faces latérales du capteur sont données par la formule :

$$Q_{p,lat} = \frac{(T_p - T_{iso})}{\frac{e_{isol,lat}}{\lambda_{isol}} \cdot \frac{A_v}{A_{lat}}} \quad (\text{III.19})$$

Où,
$$U_{lat} = \frac{\lambda_{isol} \cdot A_{lat}}{e_{isol,lat} \cdot A_v} \quad (\text{III.20})$$

U_{lat} : Le coefficient de pertes thermiques latérales.

A_c : Surface du capteur.

A_{lat} : Surface des faces latérales du capteur [m^2].

e_{isol} : Epaisseur de l'isolant sur ses faces latérales.

λ_{isol} : La conductivité thermique de l'isolant [$\text{W} / \text{m} \text{ } ^\circ\text{C}$].

III.8.7. Le bilan énergétique du réservoir

La température dans la cuve est uniforme. Le régime est considéré transitoire et le flux total de la chaleur perdue dans la cuve est égal à la somme des flux radiaux Φ_r plus le flux qui traverse les fonds bombés Φ_{fe} . La puissance récupérée par le fluide caloporteur est définie comme étant la différence entre l'énergie solaire incidente et les pertes thermiques. [32]

$$\Phi_u = A_c F_r (\tau \alpha G - U_L (T_{fe} - T_a)) \quad (\text{III.21})$$

Avec :

F_r : Facteur de conductance du capteur

III.9. ETUDE HYDRAULIQUE

III.9.1 Effet thermosiphon

Soit un circuit fermé parcouru par un fluide de température T_1 dans une branche et T_2 dans l'autre ($T_1 > T_2$), h est la hauteur h entre les deux points **A** et **B**, comme montrée dans la figure ci-dessus

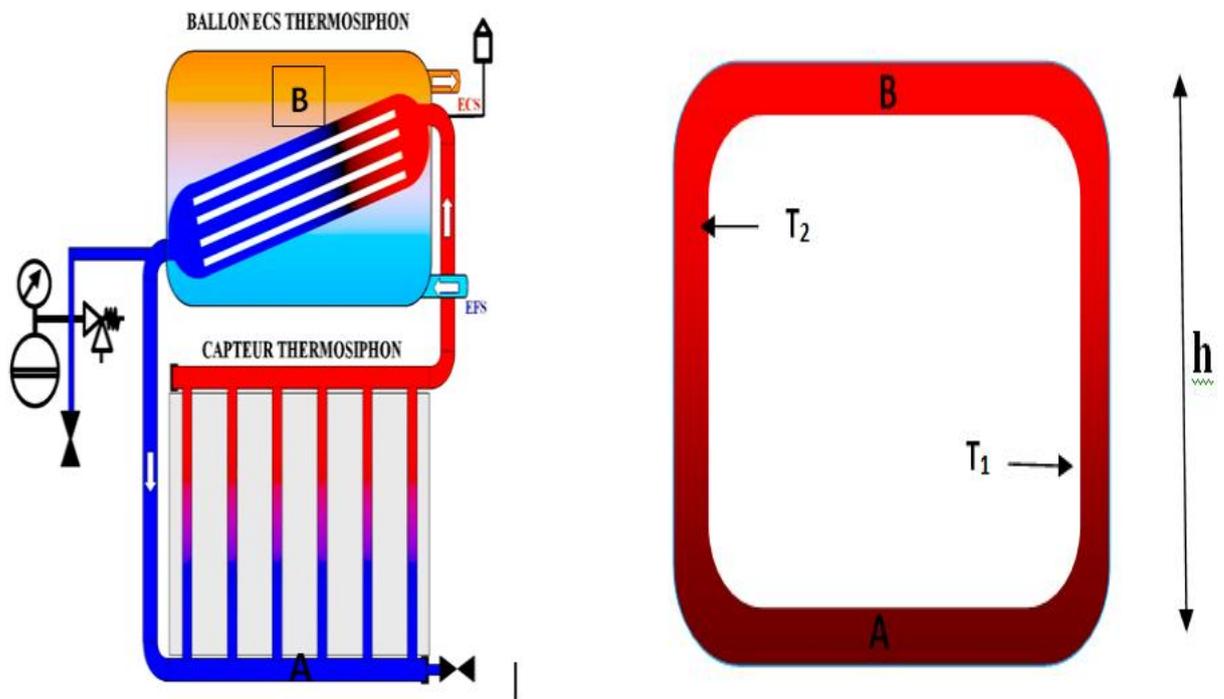


Figure III.25:L'Effet thermosiphon.[34]

La charge Δp créée par la différence de la masse volumique du fluide dans les deux branches est donné par

$$\Delta p = gh [\rho_f - \rho_c] \quad (\text{III.22})$$

Avec :

Δp : la pression motrice due au phénomène de thermosiphon (Pa)

ρ_c, ρ_f : La masse volumique du fluide chaud et froid (kg/m^3)

G : la gravité = 9.81m/s^2

La masse volumique du fluide (eau) dans le tube peut être déterminée par une expression quadratique fonction de, la température moyenne (Close, 1962) de la forme : [33]

$$\rho (T_{fm}) = a_1 T_{fm}^2 + T_{fm} a_2 + a_3 \quad (\text{III.23})$$

La distribution de la température dans la direction de l'écoulement peut être assumée linéaire, alors si $T_{f,e}$ et $T_{f,s}$ sont respectivement les températures de l'eau à l'entrée et la sortie du capteur T_f sera la température moyenne de l'eau dans le tube. Soit h le déplacement vertical de l'eau lors de son passage du bas en haut de capteur, alors il a été montré par **M.Close 1962** que : [37]

$$H_t = \frac{T_{fe} - T_{fs}}{2} (2a_1 T_m + a_2) h \quad (\text{III.24})$$

Avec: $h = L_{\text{tub}} \sin\phi \quad (\text{III.25})$

Donc: $H_t = \frac{T_{fe} - T_{fs}}{2} (2a_1 T_m + a_2) L_{\text{tub}} \sin\phi \quad (\text{III.26})$

L : la longueur du capteur

B : l'angle d'inclinaison du capteur

Tableau III.7: La variation de la masse volumique en fonction de la température. [35]

La température °C	10°	20°	30°	40°	50°	80°
La masse volumique de l'eau kg/m ³	999,73	998,23	995,67	992,2	988,1	971,8

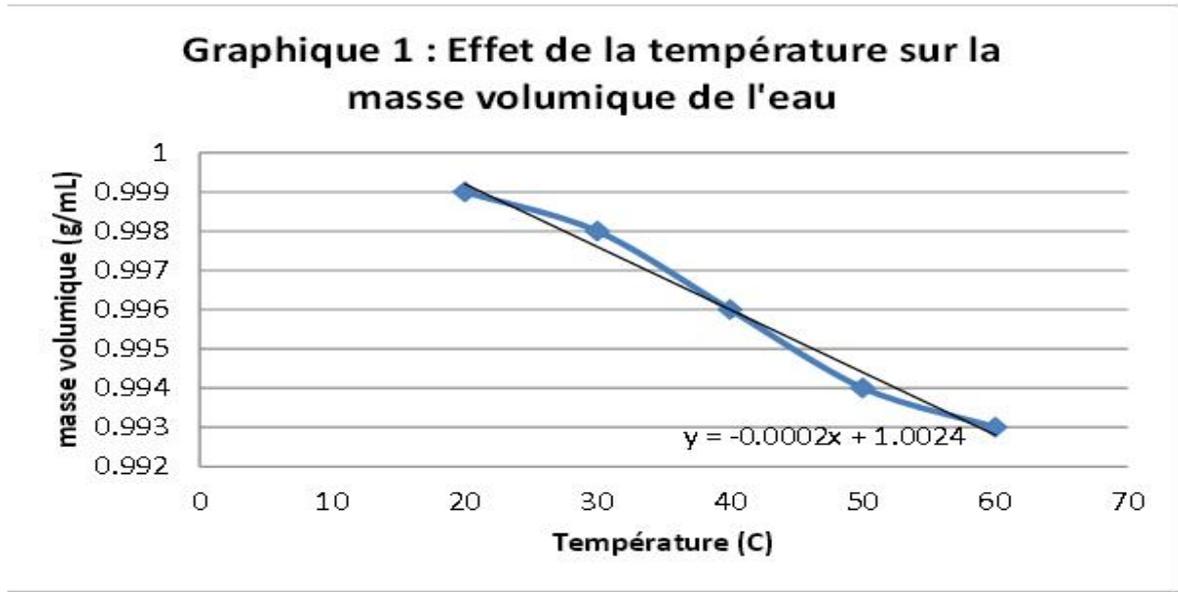


Figure III.26 : L'effet de la température sur la masse volumique de l'eau.

Pour le calcul de la température de l'eau de la cuve de stockage (T_s), nous supposons que cette dernière est uniforme.

Le bilan énergétique de la cuve s'écrit ;

$$Mc_p \frac{\partial T}{\partial t} = [\dot{m} c_p (T_{ec} - T_{sc}) - U_L (T_{fe} - T_a)] dt$$

La solution de cette équation est donnée par la relation suivante :

$$dT_s = \int \left[\frac{1}{Mc_p} \right] [\dot{m} c_p (T_{ec} - T_{sc}) - U_L (T_{fe} - T_a)] dt$$

$$\int_{T_{t0}}^{T_t} dT_s = \left[\frac{1}{Mc_p} \right] [\dot{m} c_p (T_{ec} - T_{sc}) - U_L (T_{fe} - T_a)] dt$$

Pour ($t=t_0$), nous avons pris $T_{st0} = T_{sc}$ d'où :

$$T_{st} = T_{sc} + \left[\frac{1}{Mc_p} \right] [\dot{m} c_p (T_{ec} - T_{sc}) - U_L (T_{fe} - T_a)] (t - t_0) \quad (\text{III.27})$$

III.10. Le rendement du chauffe eau. [29].

La norme C.E.C stipule que l'étude la plus significative des performances thermiques d'un capteur plan est de déterminer son rendement instantané défini comme étant le rapport entre le flux utile récupéré, sur l'éclairement solaire global incident sur le capteur tel que :

$$\eta = \frac{Q_u}{G} = \frac{M c_p \Delta T}{G} \quad (\text{III.28})$$

G : l'éclairement solaire global incident sur le capteur

III.11. CONCLUSION

La production d'eau chaude sanitaire, à l'aide des chauffe eau solaires représente l'une des applications les plus importantes de l'énergie solaire, elle permet d'alléger le cout de la facture énergétique, préserver les combustibles fossiles ou fissiles, Diminuer les risques par rapport à d'éventuelles hausses des prix du pétrole

Le chauffe eau solaire **GTP** est de type thermosiphon monobloc, le ballon et le panneau solaire forme un seul ensemble compact ce qui réduit les pertes thermiques en cas de faible ensoleillement contrairement au chauffe eau a élément séparé

La surface de capteur solaire permet de produire la totalité des besoins d'eau chaude en cas d'une journée bien ensoleillée, et Grace à un système d'appoint même en hiver ou dans des journées moins ensoleillées.

Chapitre IV :

ETUDE COMPARATIVE

ET SIMULATION D'UN

CHAUFFE EAU GTP

IV.1. INTRODUCTION

Dans notre travail, nous allons procéder à une étude comparative des performances thermiques d'un prototype de chauffe eau solaire GTP pour trois sites algériens, en l'occurrence (Alger (Dar al Beida) et Bechar, Tamanrasset) par l'utilisation d'un logiciel de dimensionnement TRNSYS développé par SEL « solar energy laboratory »

L'objectif de cette partie est d'une part d'évaluer les performances de notre capteur notamment les températures de sortie de l'eau et son rendement dans les sites.

IV.2. Présentation de logiciel TRNSYS

TRNSYS est un logiciel de simulation dynamique développé par le **CSTB** (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment) permettant de simuler le comportement d'un système complexe. Il a été le précurseur de nombreux autres logiciels de simulation, utilisant son solveur générique et/ou certains de ses modèles (Energyplus, Energy 10, CASIS, ...).

IV.2.1. L'environnement de TRNSYS

Contrairement à la grande majorité des autres logiciels de simulation, **TRNSYS** n'est pas axé que sur l'évaluation de la performance des systèmes d'énergie thermique et électrique. Il peut aussi être utilisé pour effectuer la modélisation d'autres types de systèmes dynamiques, tels que les flux de trafic ou les processus biologiques.

IV.2.2. Origine et concept

Origine et concept **TRNSYS** a été développé par le **CSTB** en **1975** dans le cadre d'une collaboration internationale. Ce logiciel est actuellement la référence du point de vue de la simulation dynamique de systèmes et de bâtiments. De nombreuses bibliothèques sont disponibles et peuvent être connectées afin de pouvoir réaliser des études pluridisciplinaires techniques et économiques. On peut y retrouver de nombreux composants tels que l'énergie solaire, hydraulique, analyse et optimisation tarifaire, cogénération, pompe à chaleur, régulation, thermique du bâtiment, comportement des usagés, ... **TRNSYS studio** sera utilisé pour faire le lien entre **TRNSYS** et le schéma de principe du projet à modéliser (Voir figure 20). Sa tâche principale sera de résoudre l'ensemble des équations dans les conditions de sollicitations, comme principalement la dimension temporelle (instants initial/ final et pas de temps de calcul).

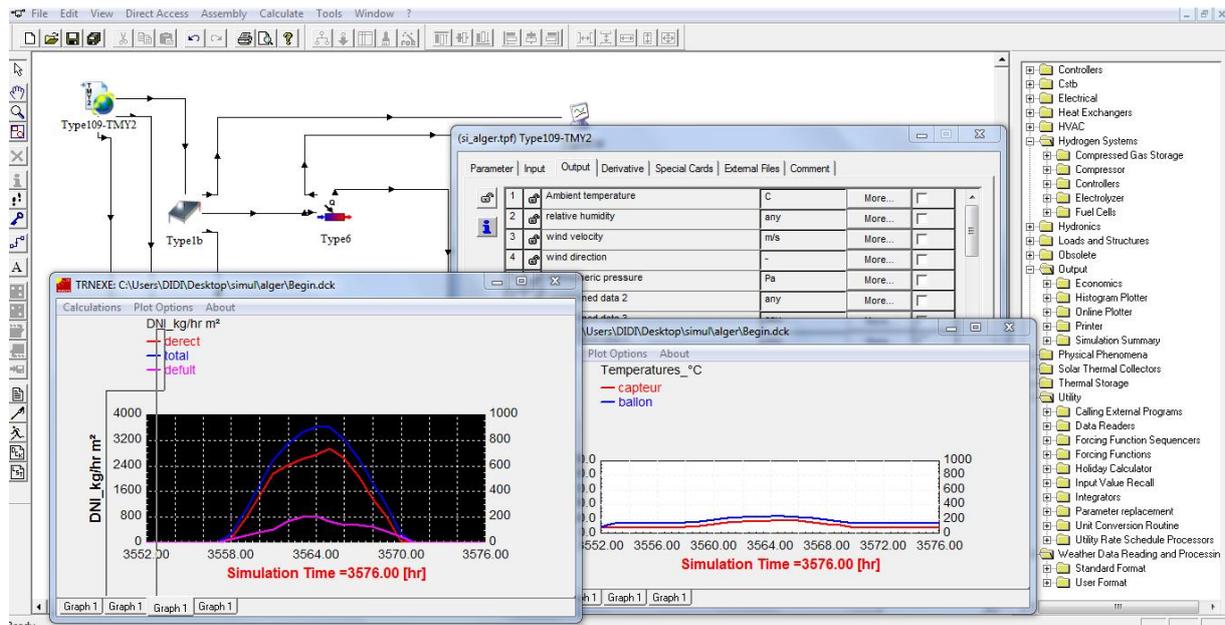


Figure IV.1. Schéma de fonctionnement de TRNSYS.

IV.2.3. Les outils de TRNSYS

- Métronome permet de disposer de données climatiques fiables avec plus de 8000 stations localisées dans le monde
- SIMCAD, un logiciel de CAO permettant la saisie de structure de bâtiment et de matériaux utilisés pour la construction
- EES (Engineering Equation Solver) est un logiciel permettant de résoudre des équations à l'aide de différents modules. Il peut être utilisé en complément de TRNSYS afin de résoudre de nombreux sous problèmes grâce à son solveur. Il est utilisé principalement dans les disciplines suivantes : thermodynamique, mécanique des fluides, transfert de chaleur et chimie.

IV.2.4. Applications

TRNSYS ne se contente pas d'étudier le comportement thermique du bâtiment, il permet également, la Résolution multizone, couplage de systèmes, possibilité d'utiliser des ressources externes comme Excel pour y associer des programmes réalisés sous **VBA**, **EES** ou encore **Matlab**. De multiples données peuvent également être prises en compte, comme par exemple la consommation d'**ECS**, la consommation d'énergie électrique **EDF** et de gaz. [10].

IV.3.Simulation du prototype

Le prototype présenté est un chauffe eau solaire en thermosiphon pour éviter l'utilisation d'une pompe, ce qui permet un fonctionnement sans électricité surtout pour son installation au sud (sites isolés).

Le prototype comporte quatre parties:

- la partie de captage avec **2m²** de surface
- le stockage avec un volume de **200 litres**
- la partie d'appoint (thermoplongeur)
- la partie de distribution.

Cette installation est destinée pour satisfaire les besoins en eau chaude sanitaire d'une famille de **4 à 6** personnes.

Remarque: En été, l'eau peut atteindre des températures élevées, pour cela un robinet mitigeur ou un système de sécurité haute température est indispensable surtout pour le Sud [32].

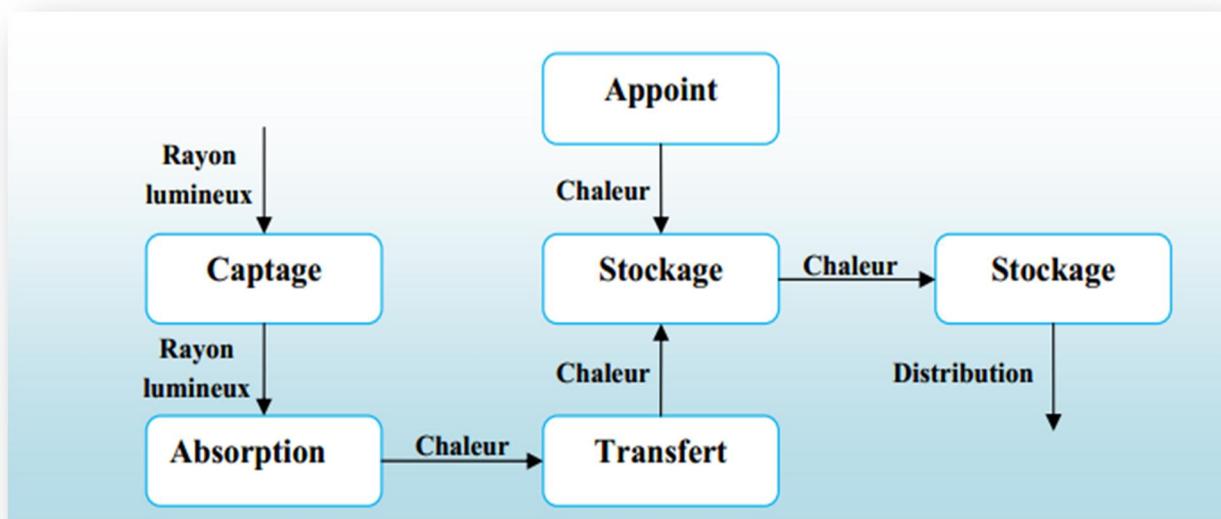


Figure IV.2. Schéma sur le principe de fonctionnement d'un chauffe eau solaire.



Figure IV.3 : Chauffe eau solaire GTP installé.

IV.3.1. Dimensionnement de l'installation de production d'eau chaude solaire

Le point de départ pour dimensionner une installation solaire de production d'eau chaude sanitaire (ECS) est d'estimer les besoins en eau chaude solaire, ensuite les conditions climatiques tels que le climat, l'orientation et l'inclinaison des capteurs.

IV.3.1.1. Les paramètres du capteur

Le dimensionnement de la surface de captation 2m^2 , s'est fait sur la base du volume d'eau chaude consommé quotidiennement

Le fluide caloporteur circulant à l'intérieur des tubes c'est de l'eau glycol anti gel avec une chaleur spécifique $4,190 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$, et un débit de 100kg/hr à une température d'entrée de 20°C .

Parameter	Input	Output	Derivative	Special Cards	External Files	Comment
1	Number in series	1	-			More...
2	Collector area	2	m ²			More...
3	Fluid specific heat	4.190	kJ/kg.K			More...
4	Efficiency mode	1	-			More...
5	Tested flow rate	40.0	kg/hr.m ²			More...
6	Intercept efficiency	0.80	-			More...
7	Efficiency slope	13.0	kJ/hr.m ² .K			More...
8	Efficiency curvature	0.05	kJ/hr.m ² .K ²			More...
9	Optical mode 2	2	-			More...

Figure IV.4: Paramètres du capteur plan dans le TRNSYS.

Comme montré sur la figure 5. Le débit du tube est constant validé a **100kg/hr.=0.0278kg/s**

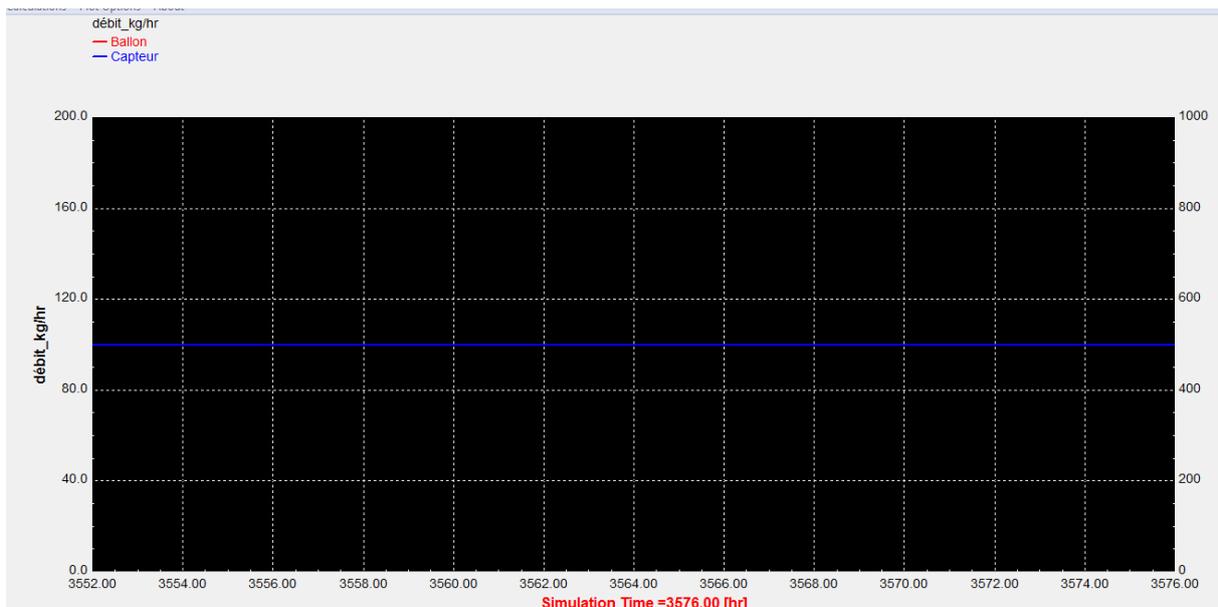


Figure IV.5: Présentation du débit.

IV.3.1.2. Les paramètres du ballon de stockage

Le volume du ballon de stockage est de **200L**, déterminé en fonction de la consommation Journalière des personnes utilisant l'eau chaude, isolé avec un polyuréthane de **50 mm** d'épaisseur. À l'intérieure on trouve un échangeur de chaleur en tôle galvanisé d'épaisseur **2mm**

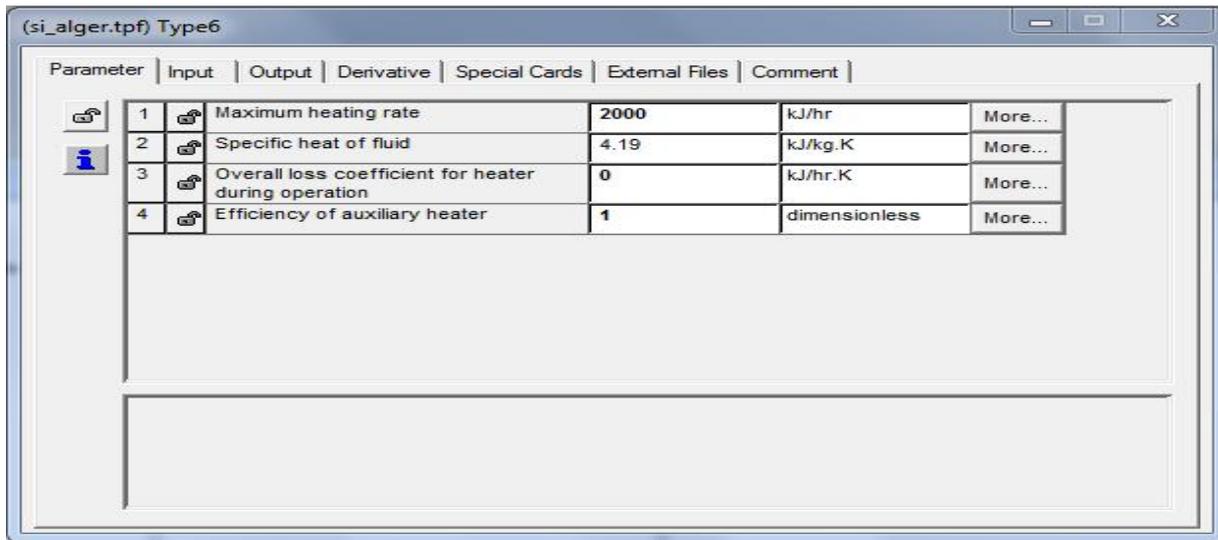


Figure IV. 6: Paramètres du ballon de stockage dans le TRNSYS.

IV.3.1.3.L'orientation et l'inclinaison

Afin de faciliter le déplacement, l'orientation et l'inclinaison du capteur, un support mobile adapté aux conditions de tests a été utilisé. Le support est fixé sur un angle d'inclinaison qui correspond à la latitude du lieu,

➤ Pour une utilisation dans le mois de janvier

À Dar Al Beida l'inclinaison sera égale à **57°**, pour une utilisation dans le mois de janvier.

A Béchar l'inclinaison sera **51°** pour le mois de janvier

A Tamanrasset l'inclinaison sera **42°** pour le mois de janvier.

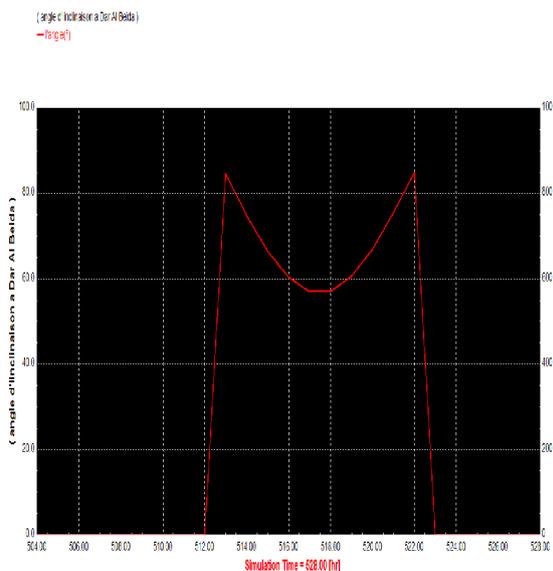


Figure IV.7:L'angle d'inclinaison à Dar Al Beida.

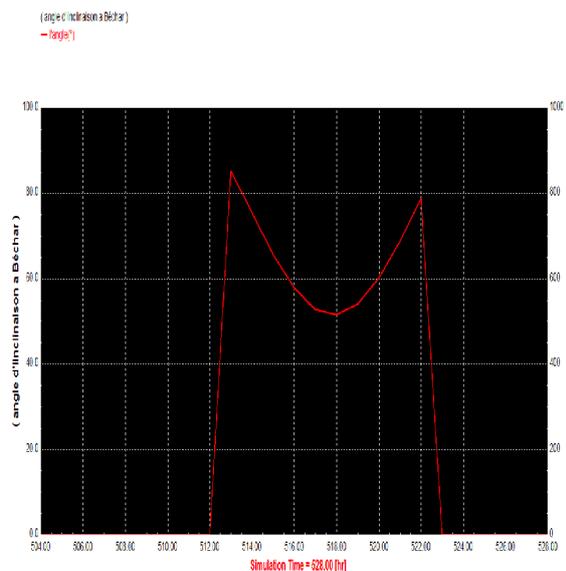


Figure IV.8:L'angle d'inclinaison à Béchar.

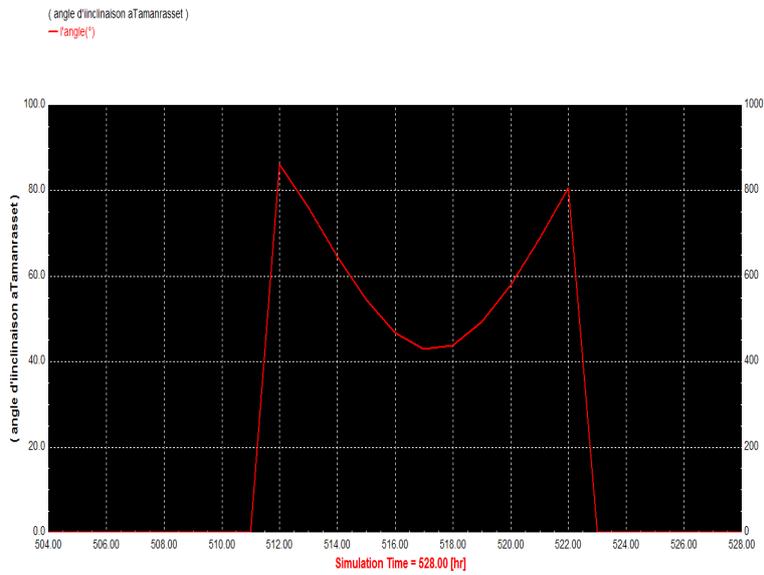


Figure IV.9:L'angle d'inclinaison à Tamanrasset.

➤ Pour le mois de juillet

A Dar Al Beida l'angle d'inclinaison du chauffe eau sera **31°**.

A Béchar l'inclinaison sera **26°**.

A Tamanrasset l'inclinaison sera **17°**.

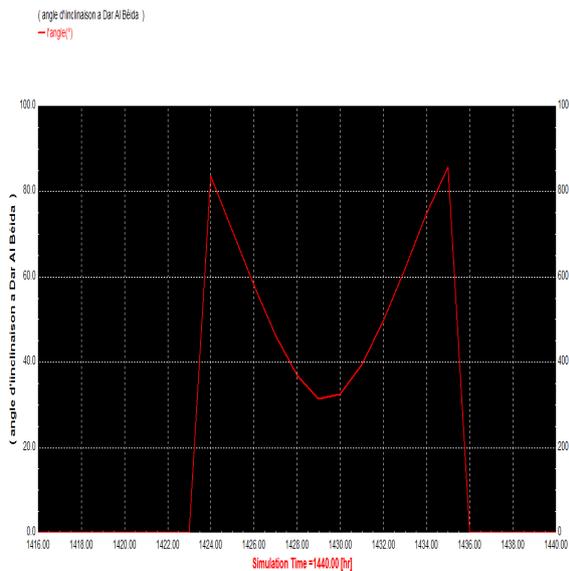


Figure IV.10 :L'angle d'inclinaison à Dar Al Beida.

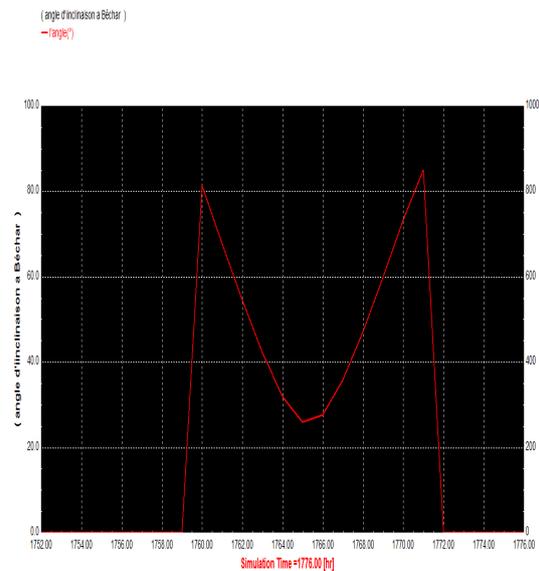


Figure IV.11:L'angle d'inclinaison a Béchar.

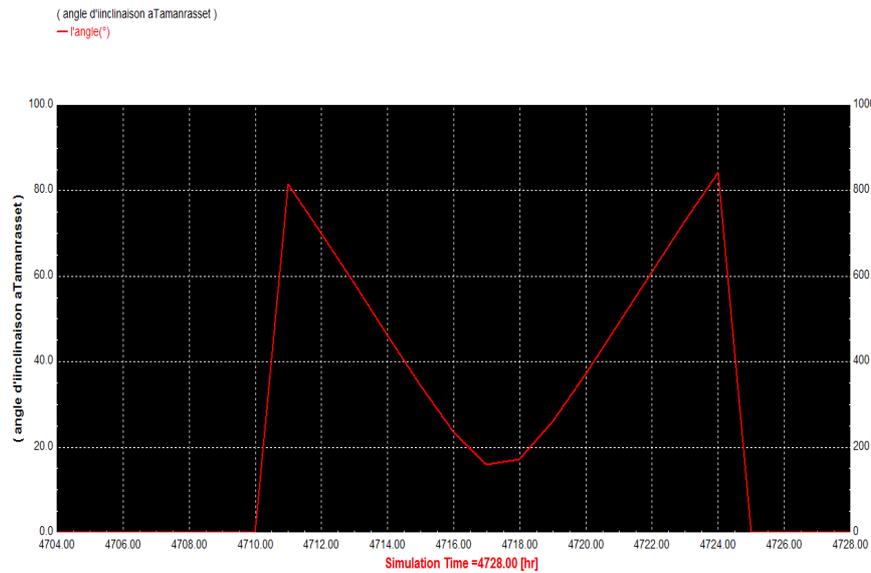


Figure IV.12:L'angle d'inclinaison à Tamanrasset.

L'installation est orientée en plein sud pour assurer encore de très bonnes performances.

Tableau. 1 les coordonnées géographiques des trois sites .

	Alger	Bechar	Tamanrasset
Latitude(Φ)	36.750000	31.600000	22.785
Longitude(λ)	3.033333	-2.216667	5.522778
L'altitude	186 m	780 m	1600 m

IV.3.2. Le Modèle initial du chauffe eau solaire

Des séries de simulations ont été réalisées dans le "Simulation Studio", interface graphique de **TRNSYS** durant une journée sur trois sites (Alger, Bechar, Tamanrasset)

Comme nous pouvons le voir sur la figure 6, sous **TRNSYS**, ce système est composé de 5 éléments :

Une composante de génération des données météorologiques (**type 15-6**), Un capteur plan de surface **2m²** présente par la composante (**type 1b**) et une cuve de stockage à l'aide du

composant (**type 6**), pour la visualisation des résultats on ajoute deux composants un intégrateur (**type 24**) et printer (**type 65d**).

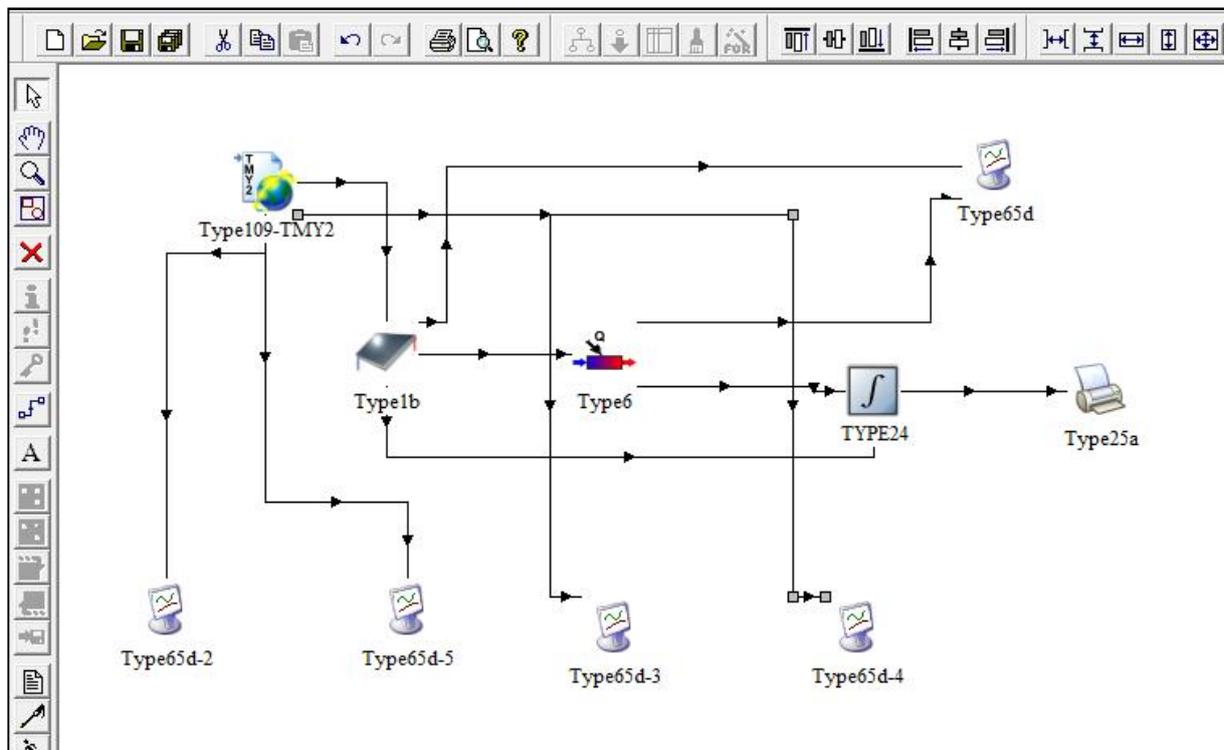


Figure IV.13: La configuration de chauffe eau solaire GTP sous TRNSYS simulation Studio.

Tableau. IV. 2 La Description des différents éléments constitutifs de ce système.

 Type109-TMY2	Permettant de simuler les conditions météorologiques d'une ville définie et l'irradiation résultante sur les capteurs en fonction de leurs orientations et leurs inclinaisons
 Type1b	Capteur plan de surface 2m ²
 Type6	La cuve de stockage de capacité 200L
 Type65d-3	Cet élément permet de sortir sous forme de courbe ou de tableau Excel les différents résultats de la simulation.
 TYPE24	Intégrateur permettant d'afficher les résultats d'intégration

IV.4. Présentations des résultats

Après avoir montré les divers éléments du système chauffe eau solaire, et simuler sous logiciel TRNSYS.

La fenêtre principale (Fig. IV.14) permet de visualiser parfaitement et en temps réel la température de l'eau a la sortie du chauffe eau

La température de l'eau chaude que pourrait produire un chauffe eau solaire au cours d'une journée dépend de la température ambiante, et le rayonnement direct incident sur le capteur, et la vitesse du vent et qui ont une influence certaine sur les déperditions thermiques du capteur solaire.

Les résultats visualisés sont relatifs au **15 Juillet** et **22 janvier**, d'un Chauffe eau solaire identique, qui serait installé dans les trois régions choisies en Algérie.

IV.4.1.Installation du CES à Tamanrasset le 22 Janvier

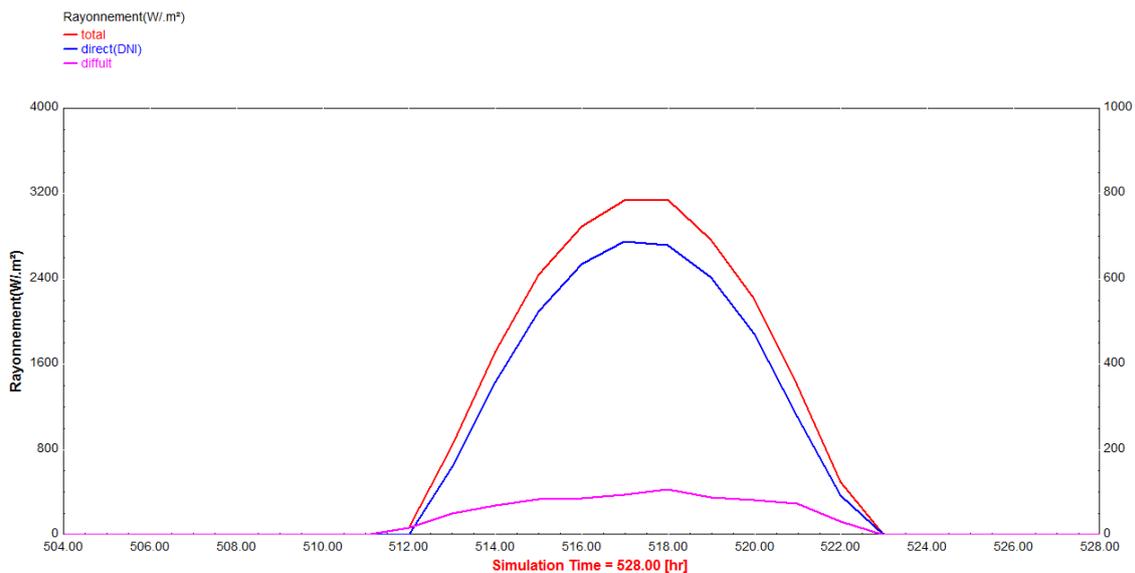


Figure IV.15: Le rayonnement solaire à Tamanrasset le 22/01.

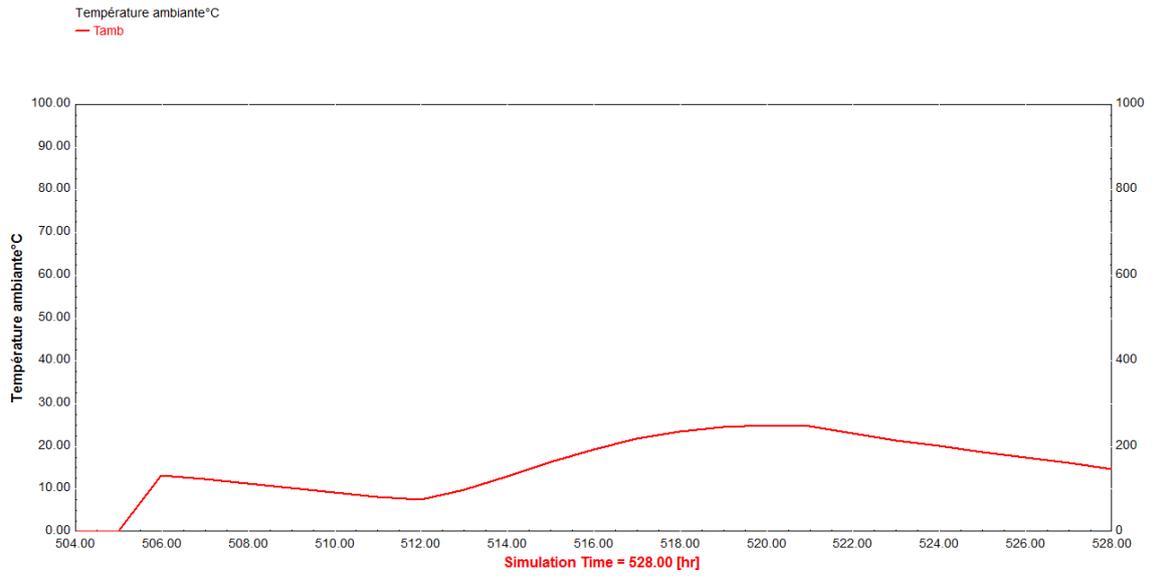


Figure IV.16 : Graphe de variation de la température ambiante.

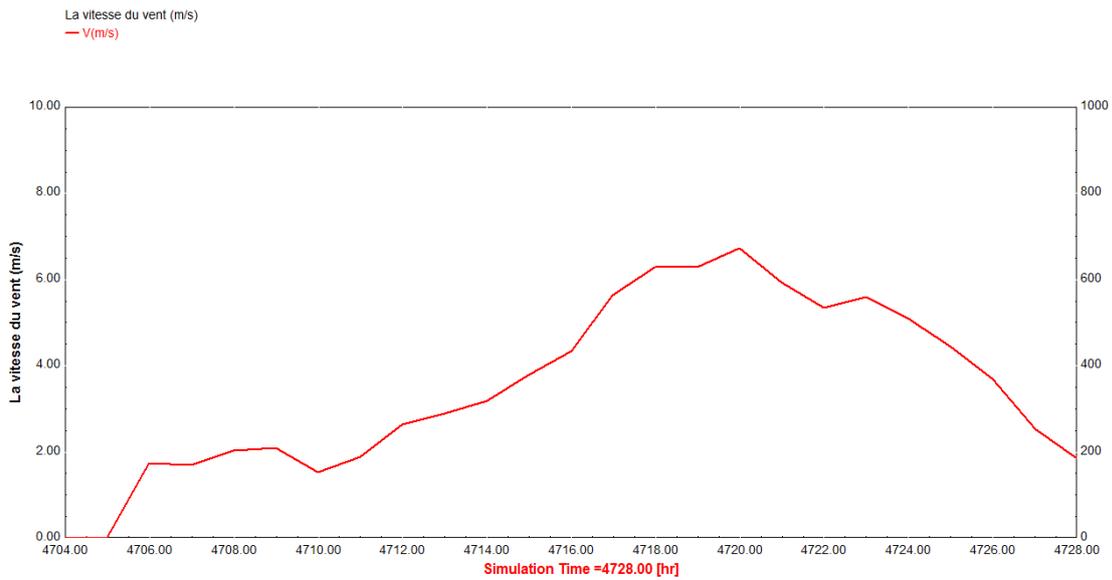


Figure IV.17: graphes de variation du vent.

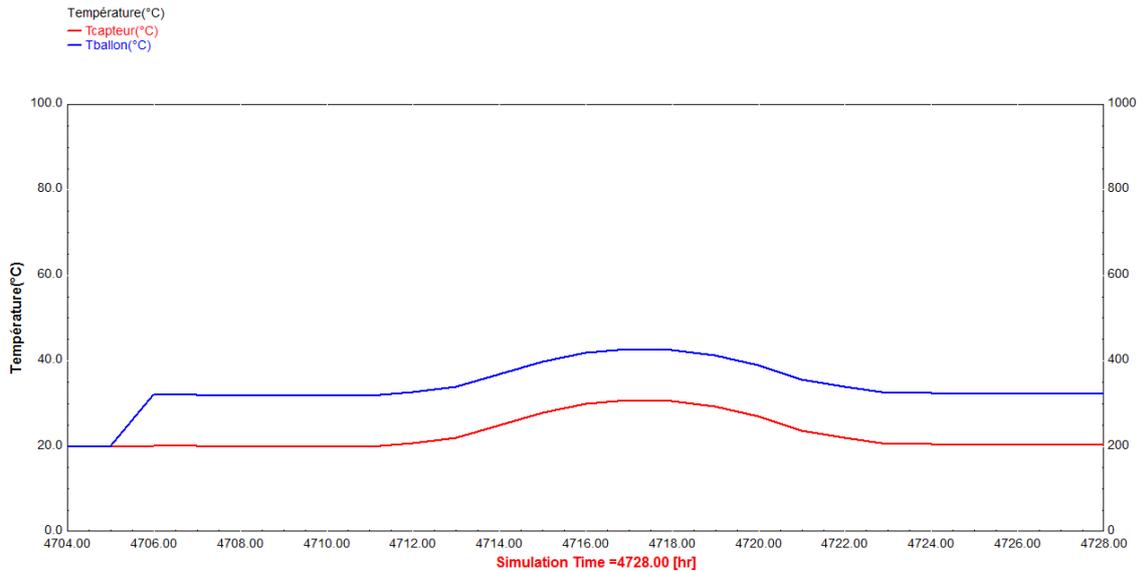


Figure IV.18: Graphes de variation de température de sortie d'eau.

Les résultats obtenus permettent de visualiser l'évolution des paramètres extérieurs d'un chauffe eau solaire durant la journée de **22 Janvier**. On remarque Le ciel était dégagé et la température ambiante moyenne lors du test est de **25,37°C**. Un vent monte jusqu'à **7m/s** (fig IV.19). On note un rayonnement Global de **3148 W/m²** (fig IV.20.) à midi, Le rendement journalier moyen du chauffe eau est appréciable. En effet, la température de l'eau à l'entrée du capteur est **20°C** et à la sortie **31°C** et la température de l'eau sanitaire a la sorti du ballon de stockage atteint une valeur maximale de **42°C** a midi au solaire vrai (fig IV.17).

IV.4.2. Installation du CES à Tamanrasset le 15 Juillet.

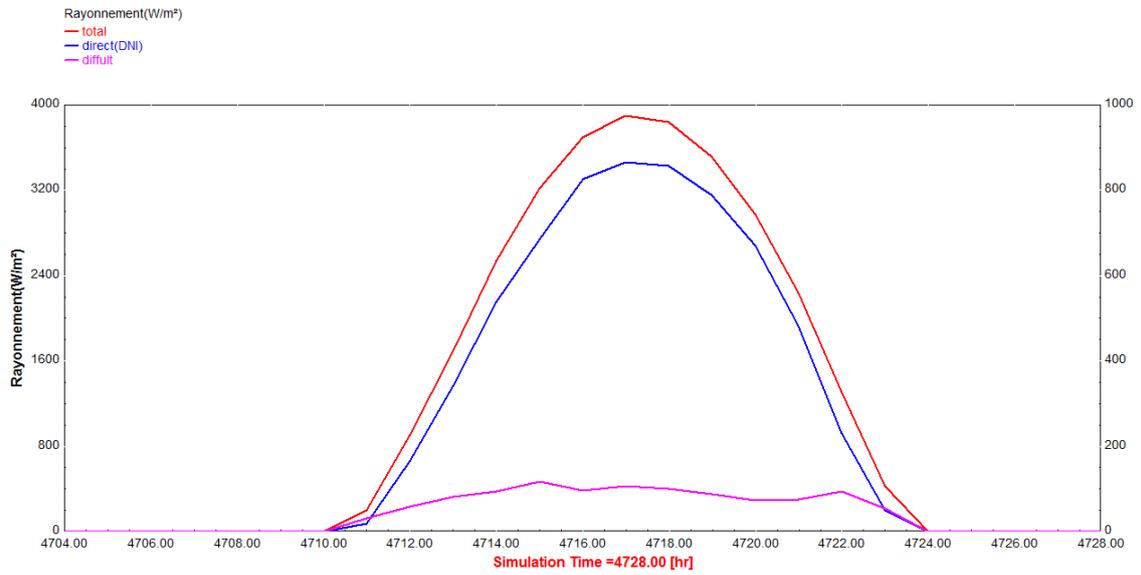


Figure IV.21: Le rayonnement global a Tamanrasset le 15/05.

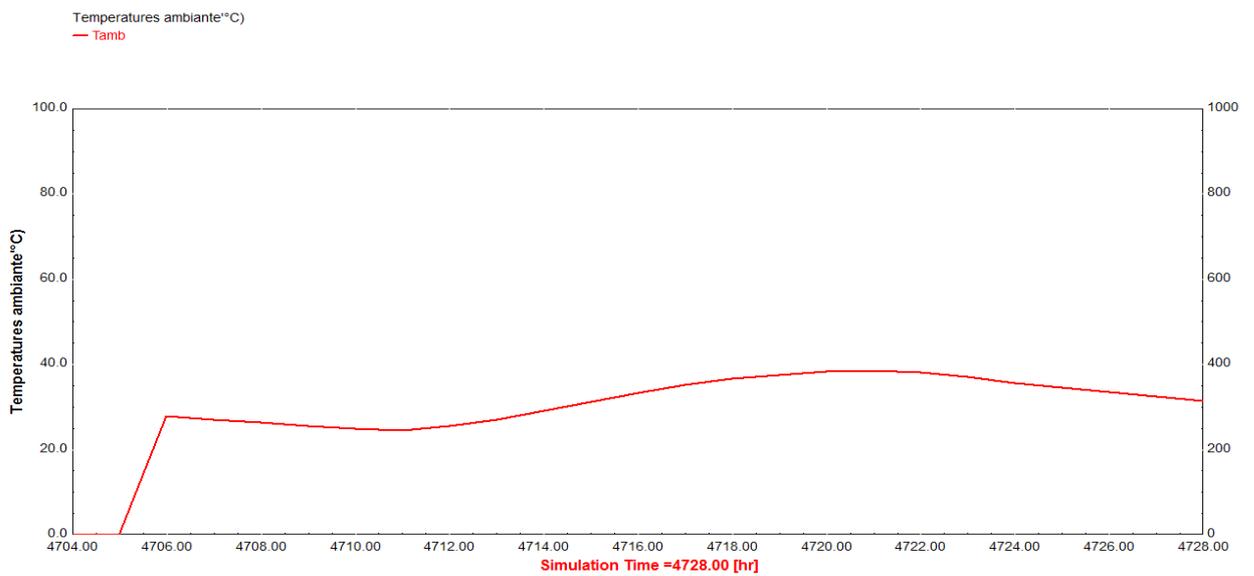


Figure IV.22 : Graphe de variation de la température ambiante.

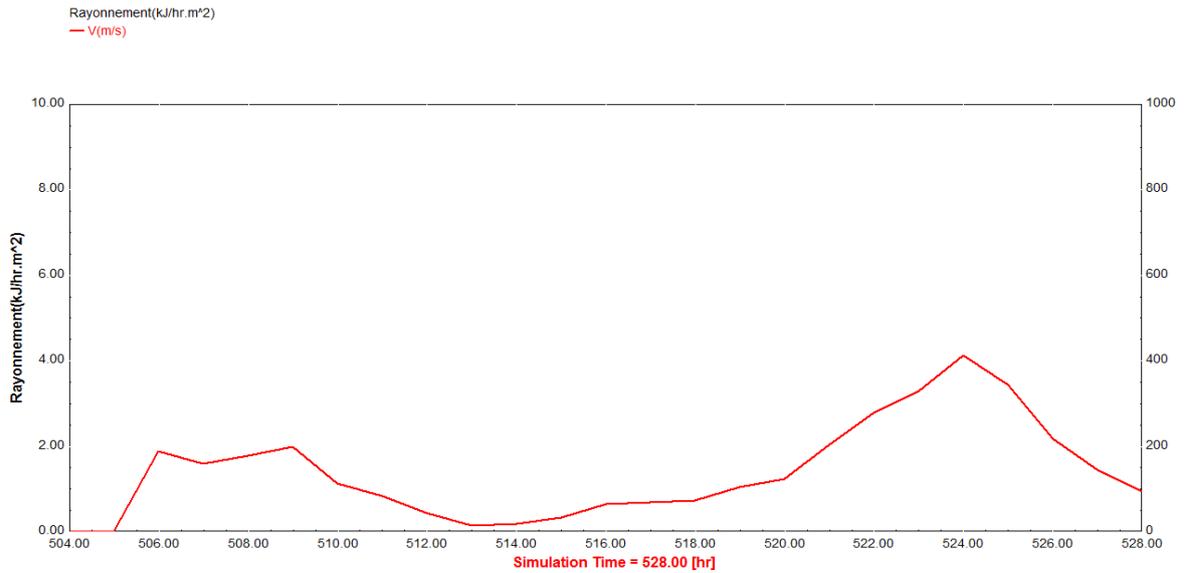


Figure IV.23: Graphe de variation du vent.

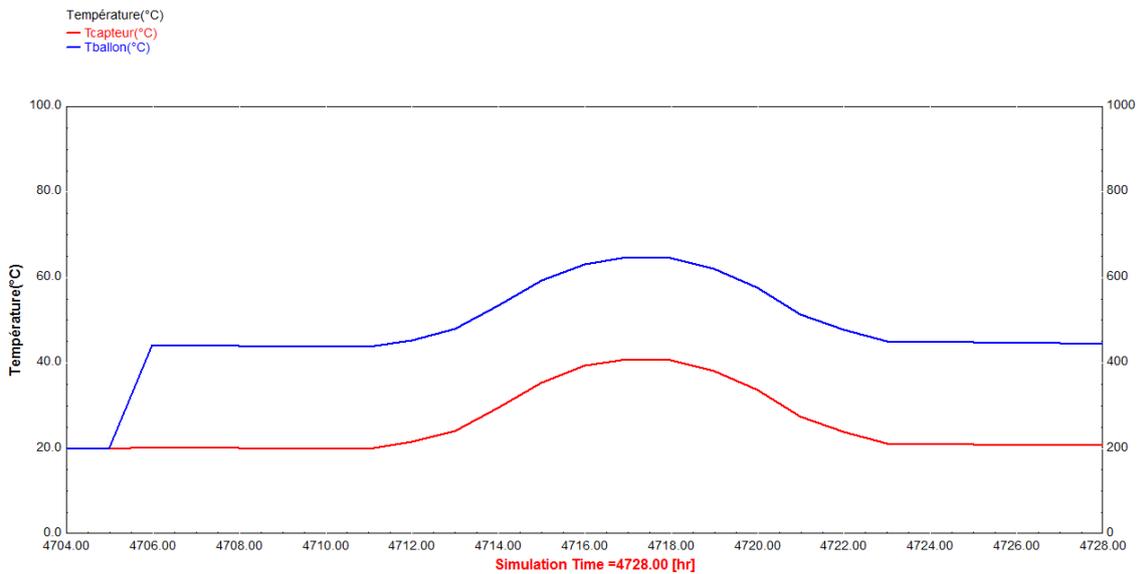


Figure IV.24 : Graphes de variation de la température de sortie d'eau.

La journée du **15 juillet** est caractérisée par un rayonnement global élevé de **3900 W/m²** par rapport au mois de janvier et une température ambiante de **39°C** et Un vent faible durant la matinée, il prend une valeur maximale de **4m/s** environ **16h**, la température de l'eau à la sortie du capteur est **40°C** et à la sortie du Ballon de stockage **64°C**.

➤ *Application numérique*

Calcul de rendement du chauffe eau : $\eta = \frac{Q_u}{G} = \frac{Mc_p \Delta T}{G} = \frac{\text{le flux utile récupéré}}{\text{l'éclairement solaire global}} (\%)$

$$\eta = \frac{0.0278 * 4190 * (64 - 40)}{3900} = 0.71 = 71\%$$

$$\eta = \frac{0.0278 * 4190 * (43 - 31)}{3148} = 0.45 = 45\%$$

Tableau. IV.3: les résultats obtenus à Tamanrasset.

	22 janvier	15 juillet
Rayonnement global (W/m²)	3148	3900
Rayonnement Direct	2744	3472
Température ambiante (°C)	25.37	39
Température a la sorti de capteur (°C)	31	40
Température a la sortie de stockage (°C)	43	64
La vitesse du vent (m/s)	7	4
Le rendement (%)	45	71

IV.4.3. L'installation du CES à Béchar le 22 Janvier.

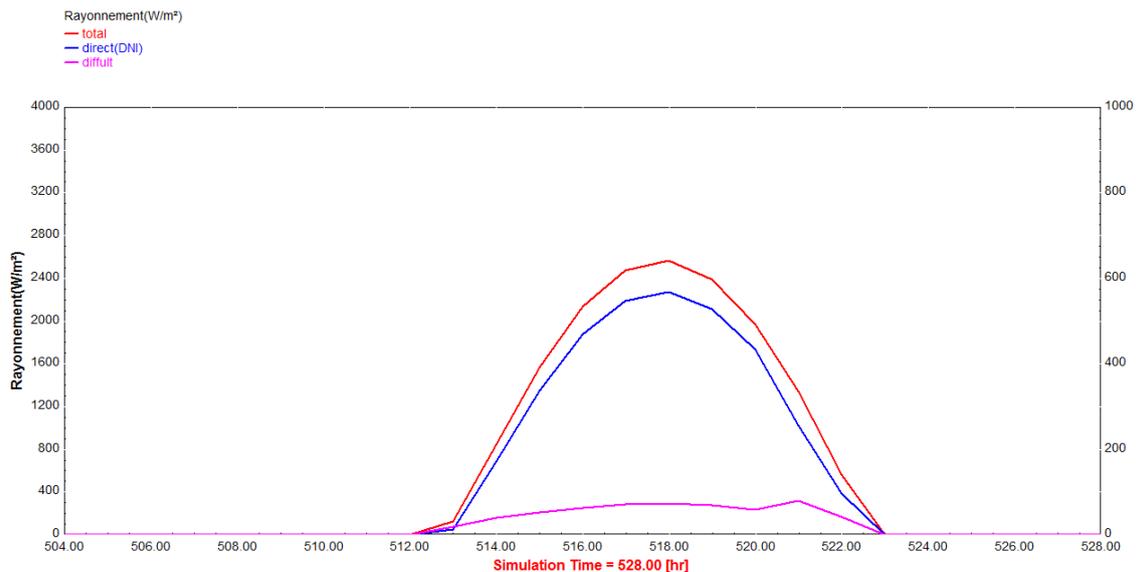


Figure IV.25: Le rayonnement global à Béchar le 22/01.

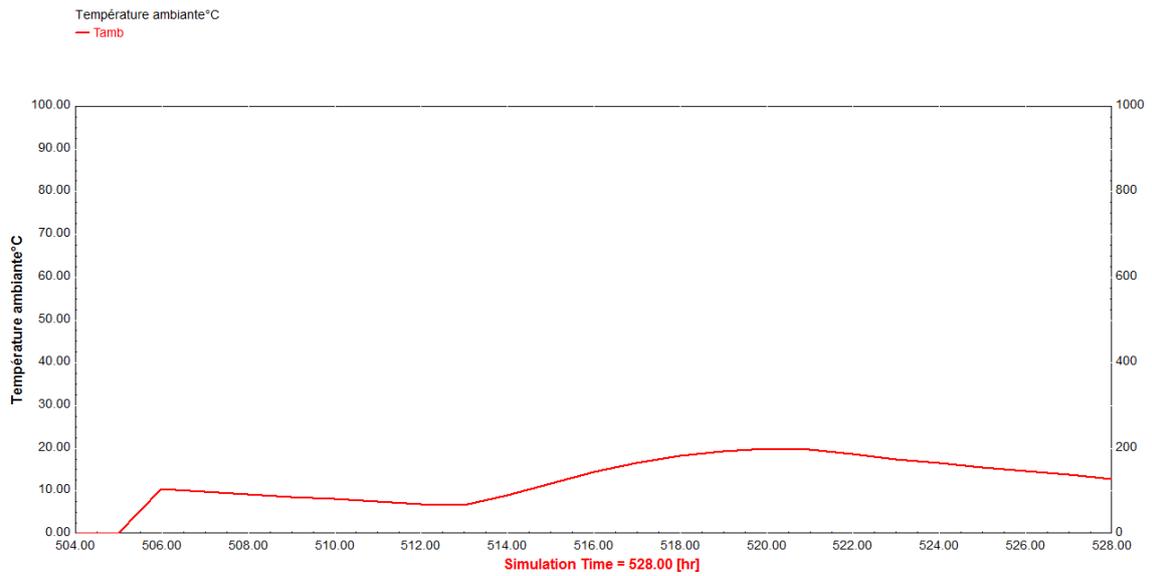


Figure IV.26: Graphe de variation de la température ambiante.

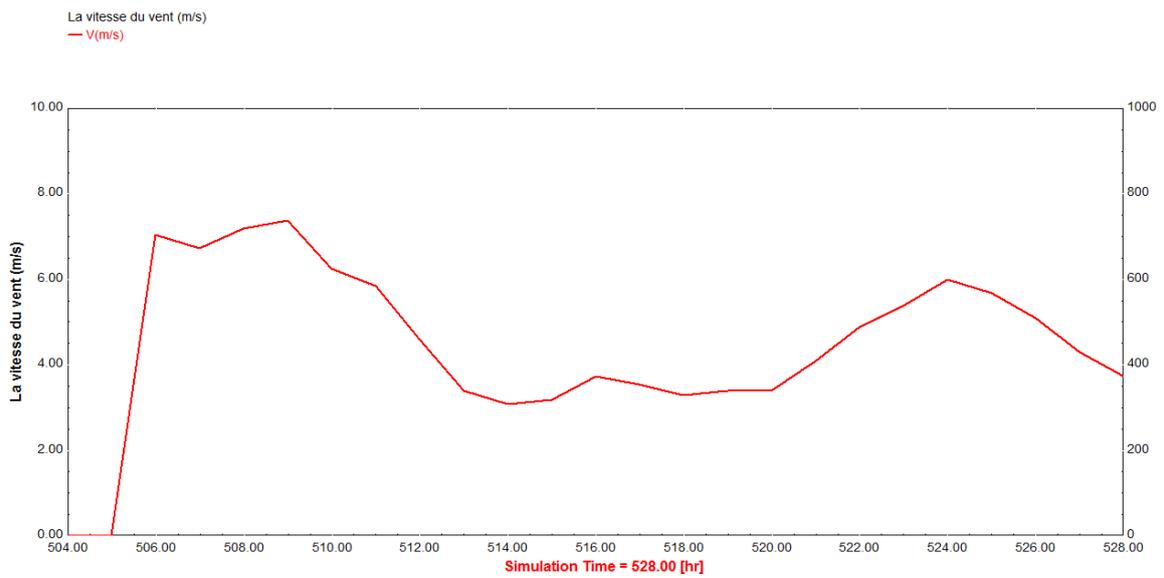


Figure IV.27: Graphe de variation du vent.

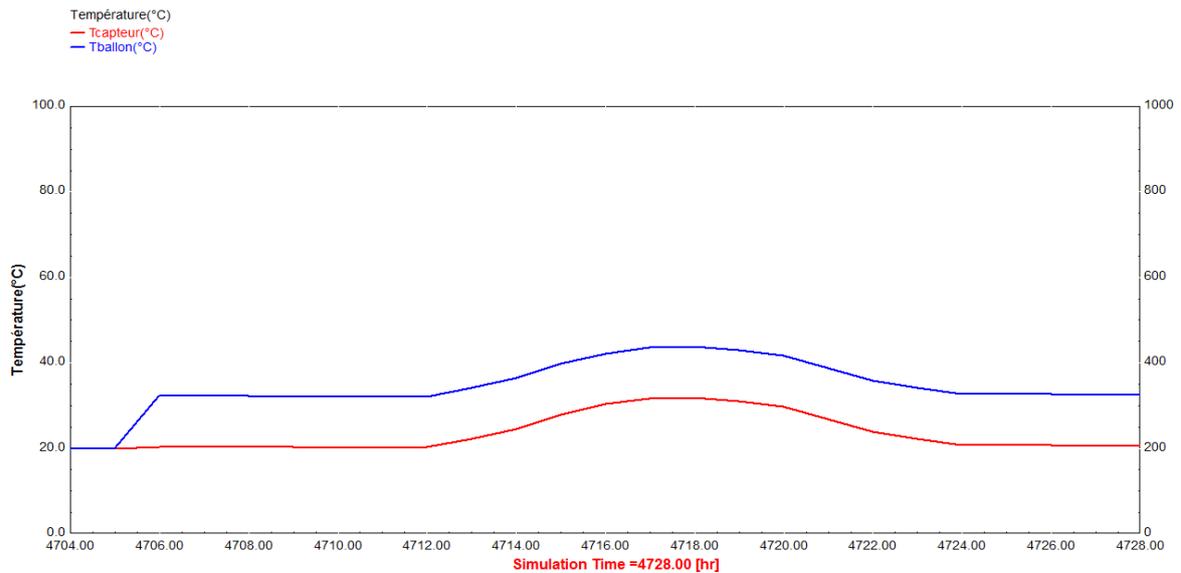


Figure IV. 28: Graphes de variation de la température de sortie d'eau.

La température ambiante en **janvier** à Béchar est de **20°C**, et le rayonnement Global incident sur la couverture est **2575 W/m²**, la vitesse du vent faible a midi est maximal la matiné atteint une valeur de **7.5 m/s**.

Le fluide rentre à une température **31°C** et **42°C** à la sortie. Le rendement journalier moyen est un peu plus faible que celui de Tamanrasset au mois de janvier.

IV.4.4. L'installation du CES à Béchar le 15 Juillet.

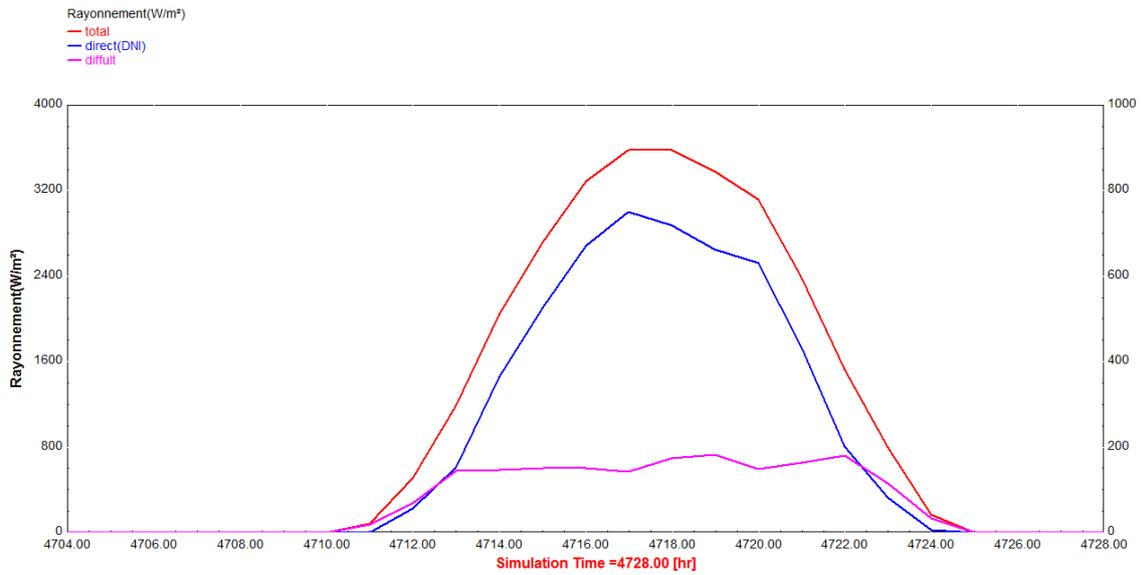


Figure IV.29: Le rayonnement global à Béchar le 15/05.

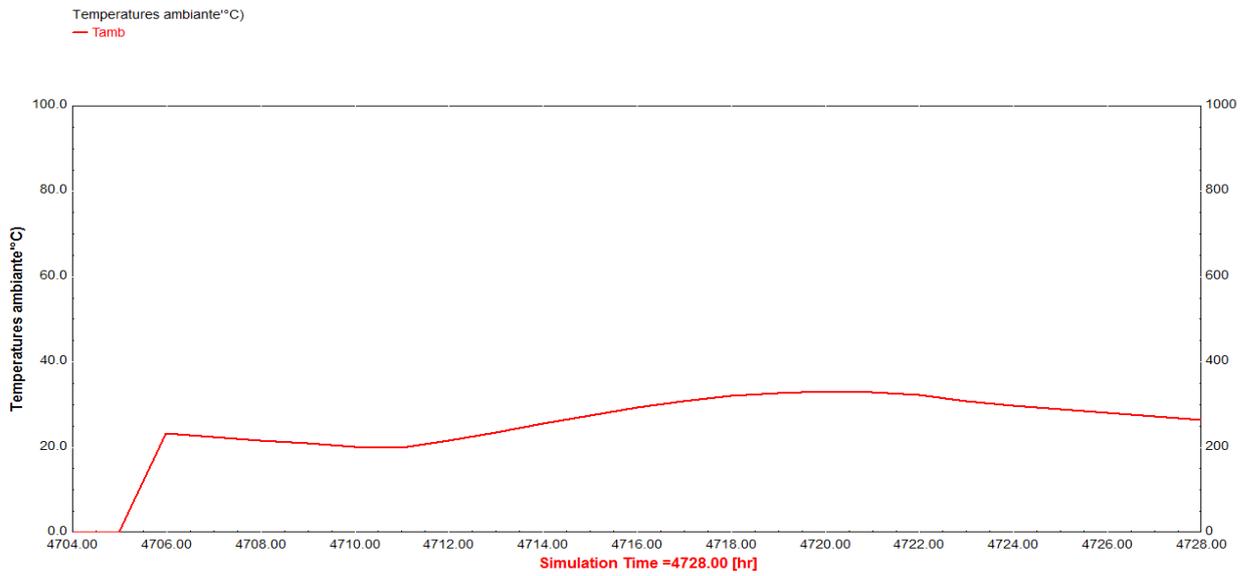


Figure IV.30 : Graphe de variation de la température ambiante.

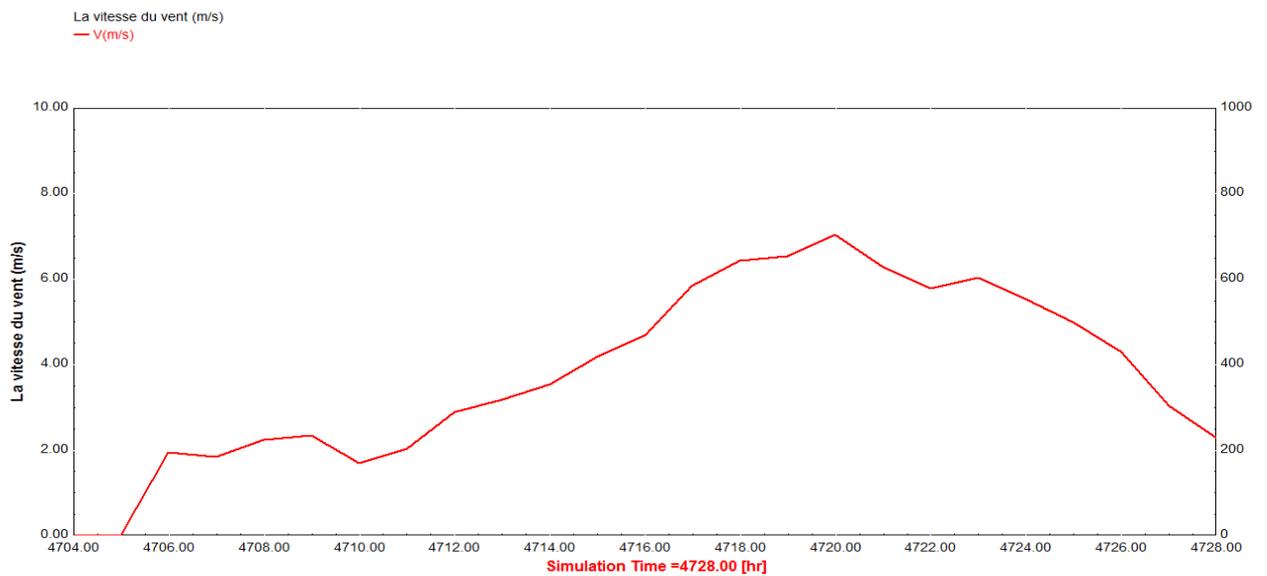


Figure IV.31: Graphe de variation du vent.

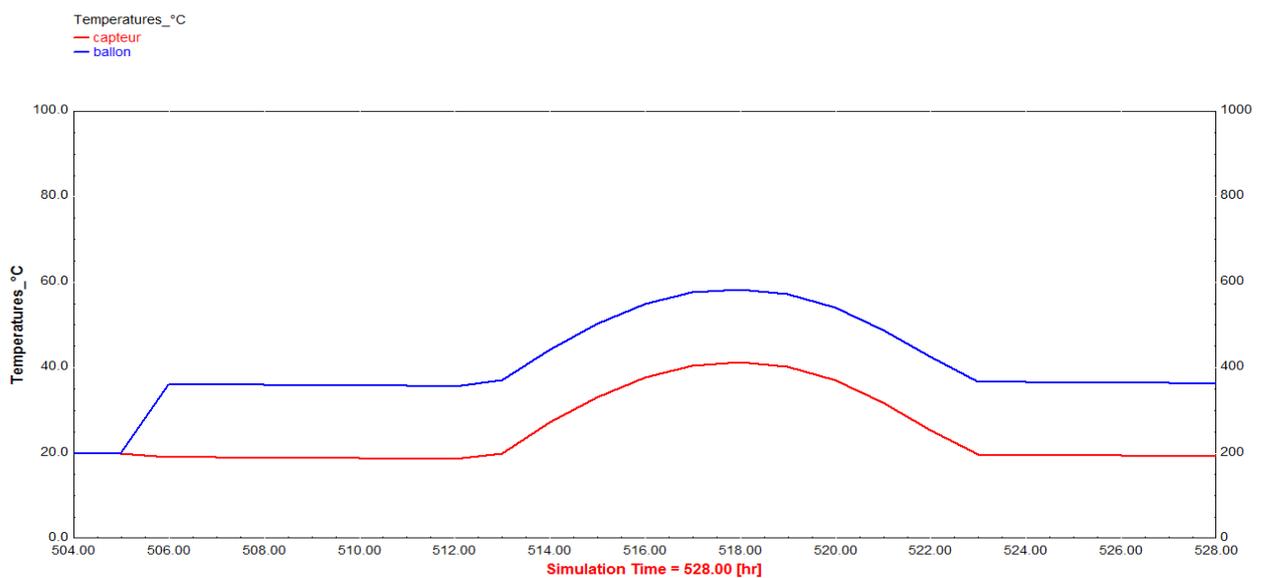


Figure IV.32: Graphes de variation de la température de sortie d'eau.

Béchar possède un climat méditerranéen chaud avec été sec selon les résultats obtenus des graphes précédents (fig. .26.27.28.29) en jour de **15 juillet** tel que le rayonnement global **3597 W/m²** et une température ambiante de **33°C** et une vitesse du vent arrive jusqu'à **7m/s** l'après midi

Le rendement du chauffe eau est plutôt élevé par rapport au mois de janvier, vu que la température de l'eau à la sortie du stockage **58°C**.

➤ **Application numérique**

Calcul de rendement d'un chauffe eau :

$$\eta = \frac{0.0278 * 4190 * (58 - 40)}{3597} = 0.58 = 58\%.$$

$$\eta = \frac{0.0278 * 4190 * (42 - 31)}{2575} = 0.49 = 49\%.$$

Tableau IV.4: Les résultats obtenus à Béchar.

	22 janvier	15 juillet
Rayonnement global	2575	3597
Rayonnement Direct	2275	2985
Température ambiante (°C)	20	33
Température a la sorti de capteur (°C)	31	40
Température a la sortie de stockage (°C)	42	58
La vitesse du vent (m/s)	7.40	7
Le rendement (%)	49	58

IV.4.5. L'installation du CES à Dar al beida le 22 Janvier.

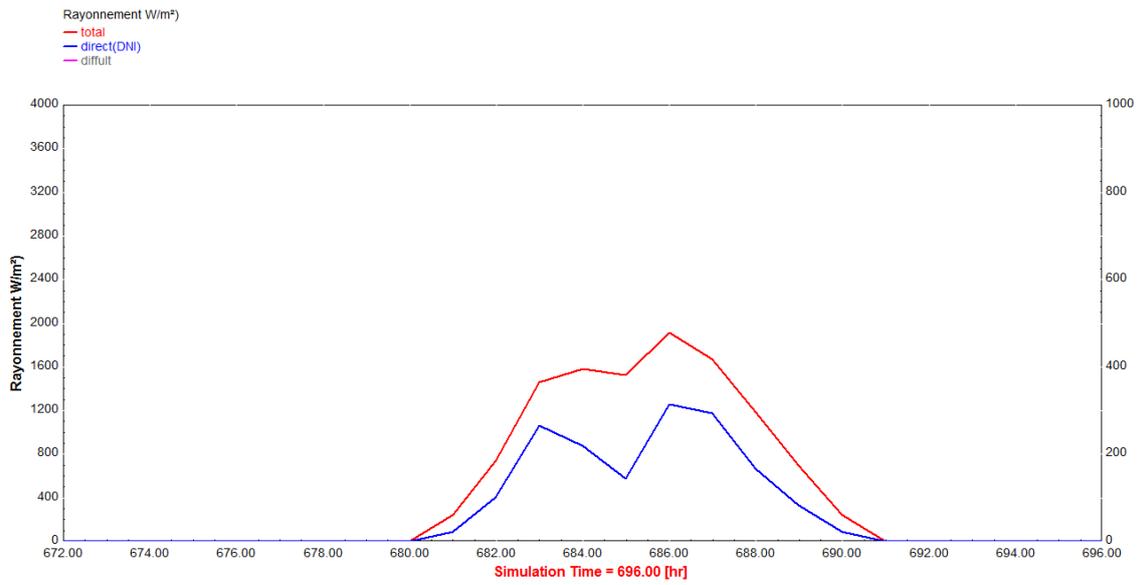


Figure IV.33: Le rayonnement global à Dar al Beida le 22/01.

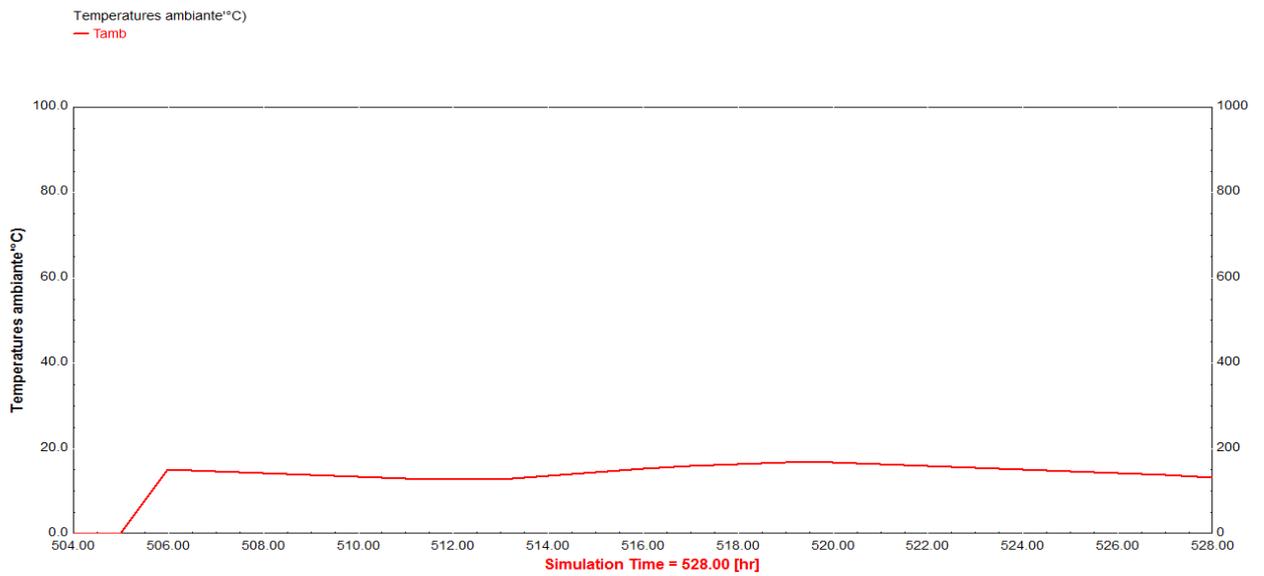


Figure IV.34: Graphe de variation de la température ambiante.

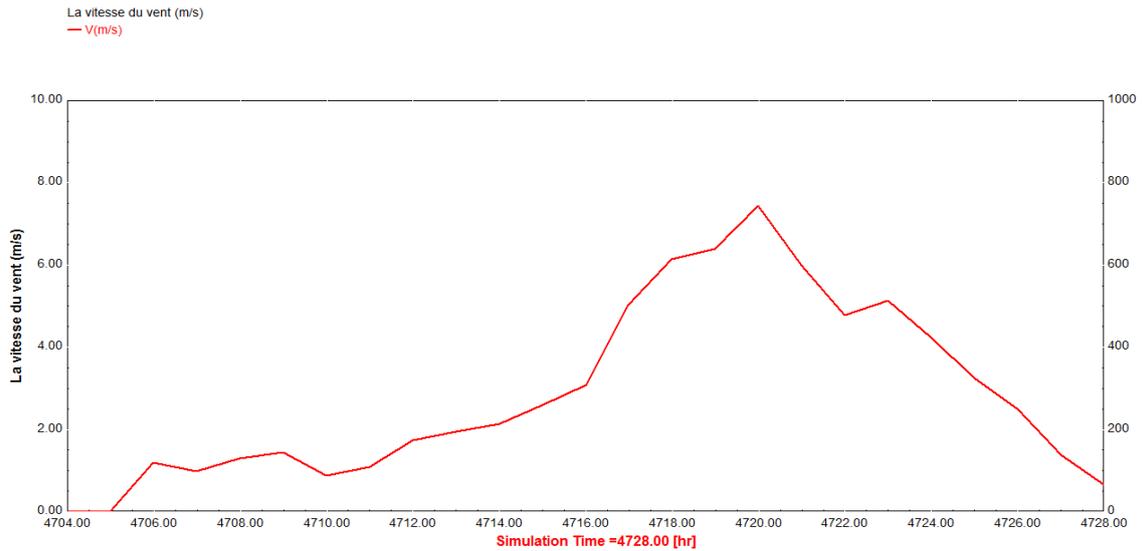


Figure IV. 35: Graphe de variation du vent.

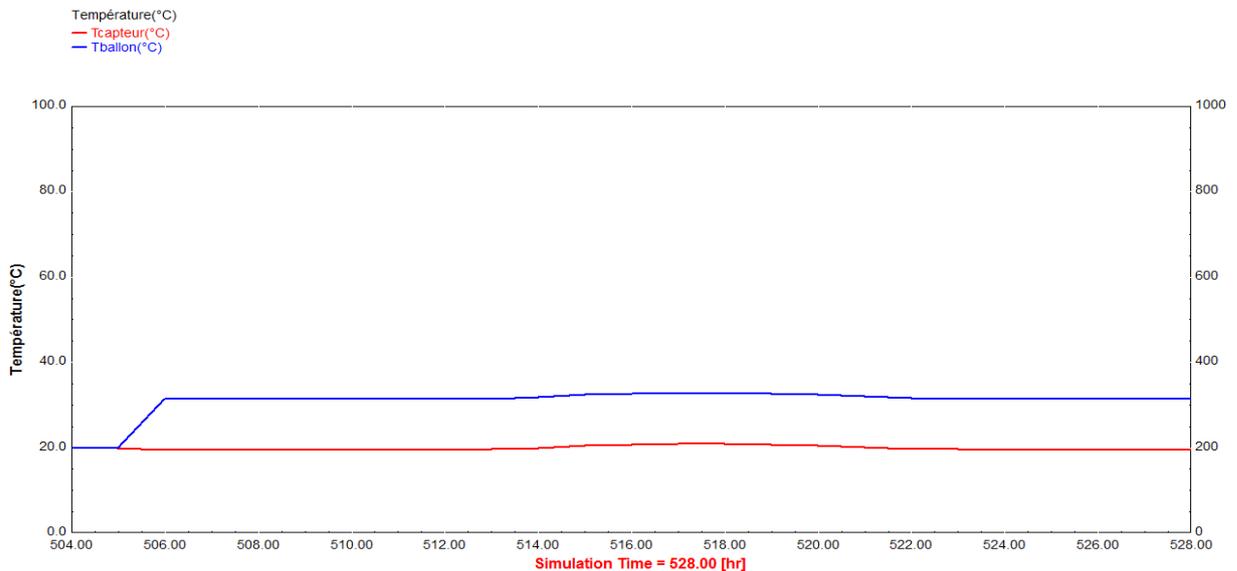


Figure IV.36: Graphes de variation de la température de sortie d'eau.

Durant la journée du **22 janvier** beaucoup de nuages ont été observés et la composante diffuse du rayonnement solaire était pratiquement absente. La température ambiante moyenne lors du test est de **17°C** c'est à dire un jour peu froid par rapport aux autres jours, le vent reste moyen. Le rendement journalier moyen du système est très faible. Ceci est principalement dû au faible éclairement solaire enregistré durant toute la journée.

IV.4.6. L'installation du CES à Dar al beida le 15 Juillet.

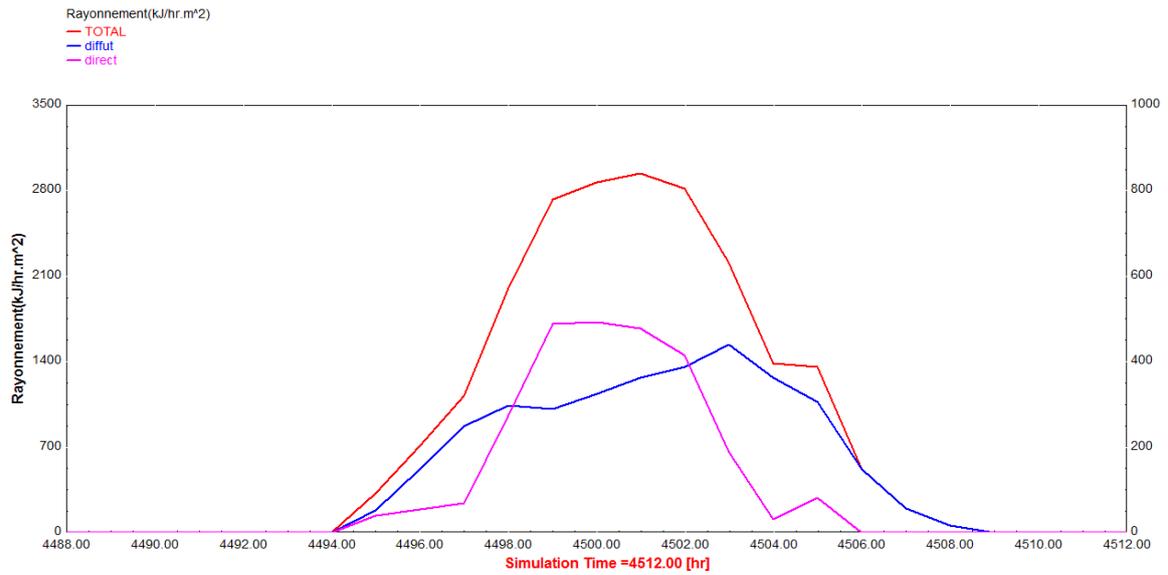


Figure IV.37 : Le rayonnement global à Béchar le 15/05.

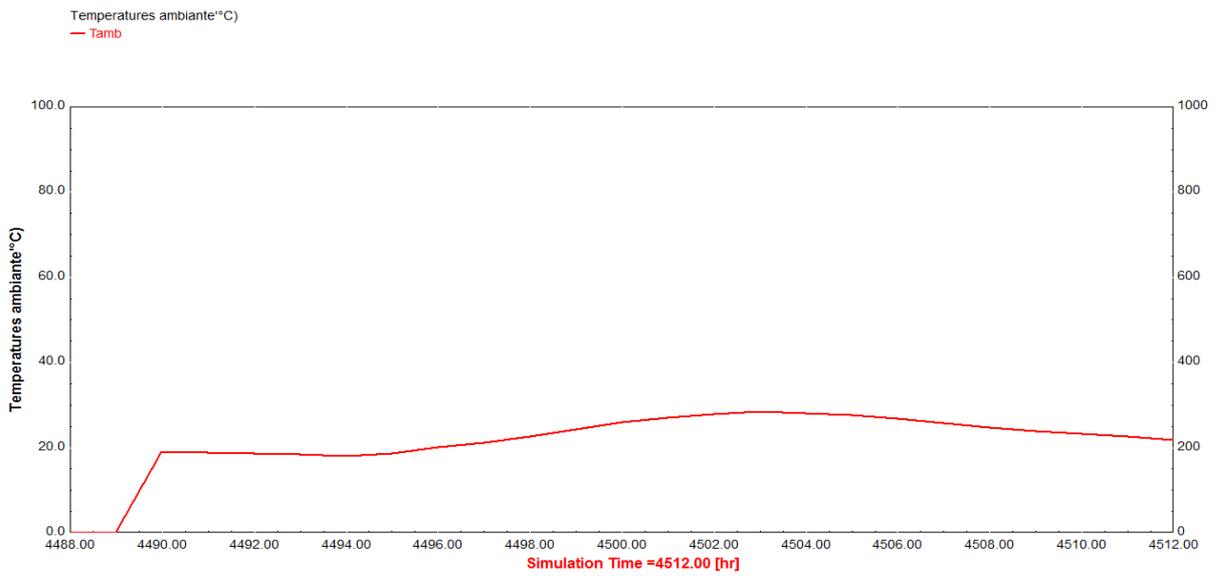


Figure IV.38: Graphe de variation de la température ambiante.

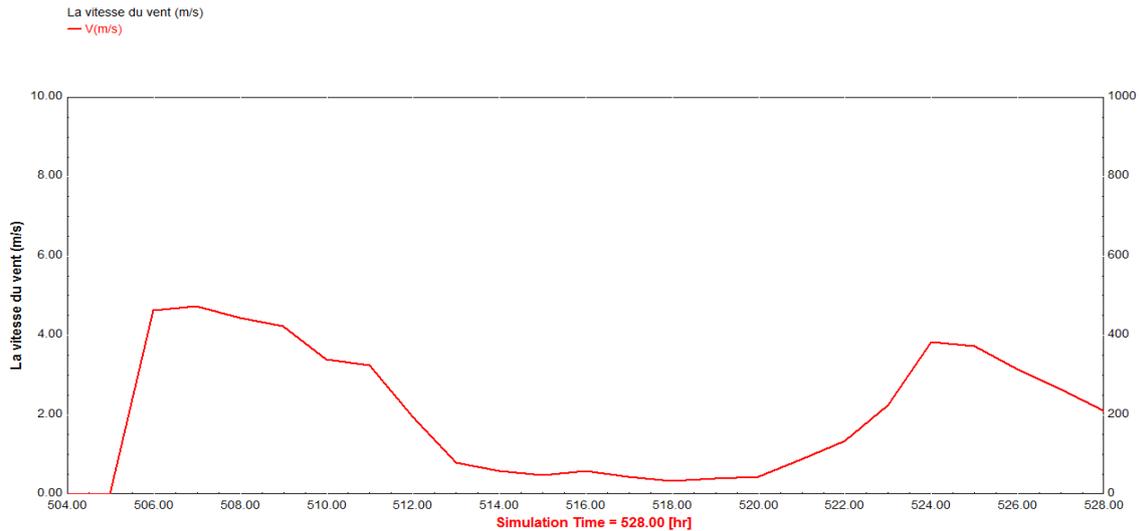


Figure IV.39: Graphe de variation du vent.

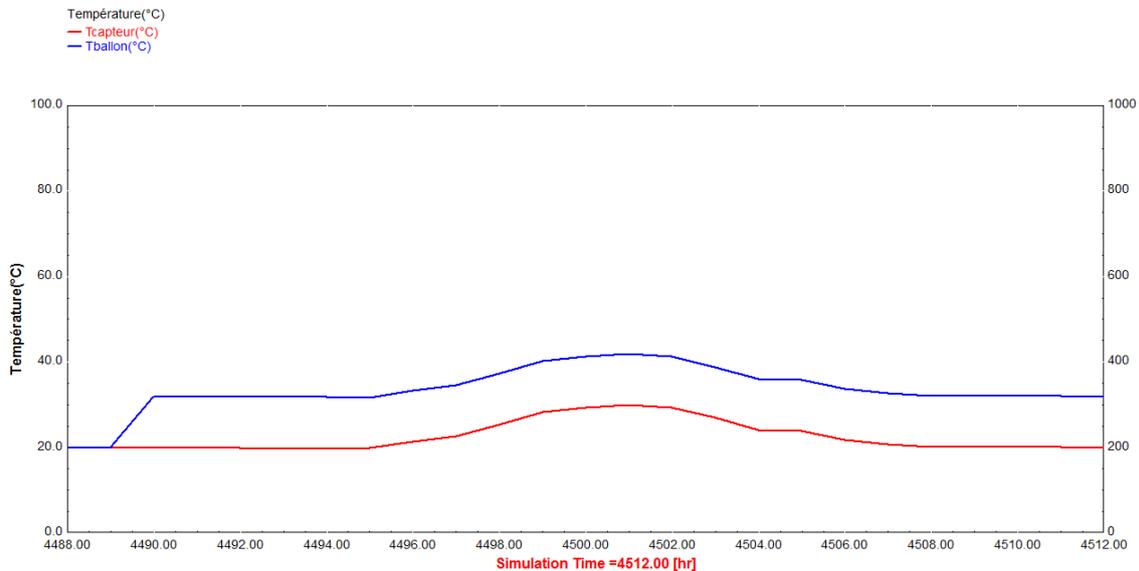


Figure IV.40: Graphes de variation de la température de sortie d'eau.

La moyenne de rayonnement global sur le site de Dar Al Beida est de **2935 W/m²** (fig. 27), et la moyenne de rayonnement Direct sur le même site est de **1720 W/m²** dans la journée du **15 juillet**.

Cette journée se caractérise par la présence de quelques brumes durant la journée. En effet la température ambiante est de **28.51°C**, c'est le rayonnement diffus qui prédomine dans l'éclairage solaire global. La variation des vents influe sur le fonctionnement du chauffe eau, la vitesse du vent dans cette journée atteint une valeur maximale la matinée, arrive

jusqu'au 4m/s, durant l'après midi elle s'affaiblit ce qui donne un rendement mieux au mois de janvier mais faible par rapport aux deux autres sites.

➤ Application numérique

Calcul de rendement d'un chauffe eau :

$$\eta = \frac{0.0278 * 4190 * (42 - 30)}{2935} = 0.47 = 47\%$$

$$\eta = \frac{0.0278 * 4190 * (32 - 25)}{1915} = 0.42 = 42\%$$

Tableau IV.5: Les résultats obtenus à Dar al Beida.

	22janvier	15 juillet
Rayonnement global	1915	2935
Rayonnement Direct	1255	1720
Température ambiante (°C)	17	28.09
Température a la sorti de capteur (°C)	25	30
Température a la sortie de stockage (°C)	32	42
La vitesse du vent (m/s)	7	5.34
Le rendement (%)	42	47

IV.5. Interprétation du résultat

La température de l'eau sanitaire a la sortie du ballon de stockage durant le déroulement des tests en fonction du temps. Dans les trois figures l'évolution des températures de l'eau à la sortie est la même, la différence réside uniquement au niveau des pentes des courbes

En examinant ces figures on remarque :

Dans trois des sites consultés, la température de l'eau est constante entre **5h** et **8h** du matin, c'est à partir de **9h** qu'elle commence à croître, autour de **12h**, sa valeur maximale monte jusqu'à **71°C** à Tamanrasset, à **58°C** à Béchar et **47°C** à Alger en mois de juillet, et **45%** à Tamanrasset et **49%** à Béchar et **42%** à Dar Al Beida au mois de janvier, à cette heure précise la récolte de la chaleur est très importante. La chaleur commence à chuter entre **16h** et **19h** en

raison de l'arrêt de l'effet thermosiphon. Après le coucher du soleil la température chute radicalement jusqu'à **20°C**.

Nous remarquons une augmentation des valeurs de rendement on calage journalier à Tamanrasset par rapport aux deux autres sites, sa valeur est comprise entre **71%** et **45%** en mois de juillet et janvier respectivement

Cette différence peut s'expliquer par l'amélioration de la surface de captation du rayonnement solaire et l'influence des paramètres externes sur cette surface.

IV.5.1. Influence du rayonnement globale

A partir des résultats obtenus dans les figures du rayonnement on constate que les différentes composantes du rayonnement solaire présentent une évolution de forme Gaussienne, elles présentent des valeurs nulles au lever et au coucher du soleil et présentent leur valeur maximale à midi en temps solaire vrai. Par ailleurs des fluctuations apparaissent sur les différentes courbes et principalement sur la composante diffuse et sur la composante directe. Alors, il apparaît que l'amplitude de ces fluctuations est plus accentuée au voisinage de midi. Ce qui est du simplement au fait que ces trois sites Alger, Béchar, Tamanrasset sont des sites côtiers situés à des altitudes dont le passage des nuages est très fréquent durant cette période, ce qui influe considérablement sur les valeurs de la composantes diffuse. Le fait que le passage des nuages augmente l'intensité de l'éclairement diffus et contribue à l'atténuation de l'éclairement direct, Une compensation se traduit sur la composante globale et par conséquent, les fluctuations sont légèrement apparentes

Par conséquence le rendement d'un capteur solaire est d'autant meilleur que le rayonnement incident est important et que l'écart de température ($T_{int}-T_{ext}$) est faible

IV.5.2. L'influence de la vitesse du vent

En effet, pour une même valeur de l'éclairement solaire reçue par le capteur solaire, l'accroissement de la vitesse du vent provoque une baisse des températures De l'eau à la sortie du capteur notamment de sa couverture (vitre) en conséquence une augmentation des déperditions thermiques vers l'avant du capteur ce qui conduit à un rendement moindre

IV.5.3. L'influence de la température ambiante

Une température ambiante élevée conduit à un écart réduit entre la température du fluide caloporteur et celle de l'ambiance, Par conséquent cela se traduit par une diminution des déperditions thermiques, ce qui conduit à un rendement plus élevé.

IV.6.Conclusion

Les installations de production d'eau chaude sanitaire dans les trois sites en Algérie sont très importantes et d'autant plus à Tamanrasset, si l'installation est bien dimensionnée

A partir des résultats obtenus, on constate que les paramètres extérieurs influencent proportionnellement sur le rendement du chauffe eau.

CONCLUSION
GENERALE

Le travail que nous avons réalisé s'inscrit dans le cadre de développement durable, nous avons étudié dans ce document le chauffe eau solaire fabriqué par **I'ENGTP** pour la production d'eau chaude sanitaire, qu'il répondant aux besoins quotidien en eau chaude sanitaire.

Dans ce projet, un thème d'actualité a été traité. Une étude comparative des performances d'un chauffe eau solaire dans trois sites différents est menée en analysant ce chauffe eau solaire avec une simulation sous l'environnement de **TRNSYS**.

Cette étude est faite sur la base des données climatiques du site obtenue du Logiciel Météonorm, selon lesquelles installé notre chauffe eau solaire (Alger, Tamanrasset, Béchar), et nous avons opté pour une configuration optimale de ce chauffe eau solaire constitué de deux éléments nécessaires sont: un capteur plan, et un ballon de stockage.

Le dimensionnement du capteur plan $2m^2$ et le volume de la cuve de stockage 200L montrent que l'eau chaude sanitaire produite par notre chauffe eau solaire est assez suffisante pour les besoins d'une petite famille de quatre à cinq personnes.

L'énergie solaire atteignant une surface donnée dépend directement de l'orientation et l'inclinaison de celle-ci. Pour récupérer un maximum d'énergie en provenance du soleil, il est nécessaire d'orienter au mieux le récepteur vers le sud par rapport aux rayons lumineux. Les panneaux solaires doivent être inclinés de sorte que leurs surfaces soient perpendiculairement au soleil pour obtenir un résultat optimal.

Les résultats auxquels on est arrivé mettent en évidence l'influence des paramètres opérationnels sur le rendement instantané d'un capteur solaire plan à savoir les paramètres externes

Il apparaît clairement que le rayonnement solaire global influe grandement sur le rendement instantané de notre dispositif solaire de façon proportionnelle. En l'absence de données expérimentales relatives au rayonnement solaire on fait recours au logiciel TRNSYS.

En outre, comme paramètre externe, on a également noté l'influence de la température ambiante. En effet, l'accroissement de la température ambiante et que l'écart de température Tint-Text est faible, améliore le rendement instantané d'un capteur solaire.

On constate après notre étude que les installations de production d'eau chaude solaires sont très efficaces en Algérie, particulièrement au sud où le rendement atteint une valeur maximale

à Tamanrasset de 71% au mois de juillet et 45% au mois de janvier, On peut satisfaire jusqu'à 100 % des besoins en eau chaude, si l'installation est bien dimensionnée. Comme l'énergie utilisée est gratuite, la production se traduit annuellement par des réelles économies.

REFERENCES

- [1] **F. BOUHIRED** « Réalisation d'un Régulateur de Température Destiné pour l'Appoint Electrique d'un Chauffe-eau Solaire » Centre de Développement des Energies Renouvelables, Bouzaréah, Alger. **1998**.
- [2] **M. MERZOUK et N. KASBADJI MERZOUK** « Le Chauffe-eau Solaire à Usage Domestique Analyse des Limites Technico - Economiques de l'Expérience Algérienne ».Centre de Développement des Energies Renouvelables, Bouzaréah, Alger. **1999**
- [3] **A. HAMID, S. SAMI, D. SEMMAR, D. LAFRI et R. KHARCHI** « Etude et Réalisation d'une Installation Solaire de Chauffage d'Eau Collectif » .Centre De Développement Des Energies Renouvelables, CDER, Bouzaréah, Alger. **2002**.
- [4] **C. BUSCARLET – D. CACCAVELLI – B. KHEBCHACHE**, « Note portant sur la fixation d'exigence minimum en matière de performance thermique des capteurs solaires et des chauffe-eau solaires ». Centre scientifique et technique du bâtiment, Paris. **2005**.
- [5] « Optimisation des performances énergétiques, économiques et environnementales des installations de production d'eau chaude solaire individuelles » Laboratoire Optimisation de la Conception et ingénierie de l'Environnement, Campus scientifique Savoie Technolac, France. **2006**.
- [6] « Conception et réalisation d'un chauffe-eau solaire ». Ecole Supérieure Polytechnique Centre de THIES, Sénégal, université cheikh Anta Diop de Dakar. **2006**.
- [7] « Contribution à l'étude d'optimisation d'un chauffe eau solaire type cylindro parabolique » Laboratoire d'Energétique et des Procédés Thermiques, Centre de Recherches et des Technologies de l'Energie, Tunisie. **2008**.
- [8] « Optimisation d'un système de production d'eau chaude ». unité de recherche appliquée en énergies renouvelables, Ghardaïa, Algérie, Centre de développement des énergies renouvelable, Bouzaréah, Alger, Ecole nationale polytechnique, El Harrach, Alger. **2009**.
- [9] « Etude expérimentale d'un chauffe eau solaire au sud ouest Algérien (Adrar) ». Département de Génie Mécanique, Faculté des Sciences et Technologie Université de Béchar, Algérie. **2010**.
- [10] **S-A. HAKEM** « Étude stochastique des performances journalières d'un chauffe eau solaire » Université des sciences et de la technologie houari boumediene. **2010**.
- [11] **A. BERCHIDE** « Etude et expérimentation d'un chauffe-eau solaire de type capteur-stockeur ».Université Abou Bekr Belkaid de Tlemcen Faculté des Sciences.**2011**.
- [12] « Etude comparative des performances thermiques d'un prototype de chauffe eau solaire pour deux sites algériens ».Centre de Développement des Energies Renouvelables, Bouzaréah, Alger, Algérie. **2011**.

- [13] « Etude théorique et expérimentale du chauffe eau solaire à thermosiphon de production nationale ». Centre de développement des Energies Renouvelables, BOUZAREAH, Alger.
- [14] **Morrison GL, Braun JE.** “System modelling and operation characteristics of thermosiphon solar water heaters”. Solar Energy 1985.
- [15] **Hobson PA, Norton B.** “A design nomogram for direct thermosiphon solar energy water heaters”. Solar Energy 1989.
- [16] <http://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=16759>
- [17] <http://www.fondation-lamap.org/fr/page/12041/le-bilan-radiatif-terrestre>
- [18] **M. Capderou,** Atlas solaire de l’Algérie, Tome 1, Vol. 1 et 2 ; OPU, 1987.
- [19] **M Chassériau,** Conversion thermique du rayonnement solaire ; Dunod, 1984
- [20] <http://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=16734>
- [21] Modélisation et expérimentation d’un capteur solaire plan à eau, Influence de l’intensité de l’éclairement solaire et de l’inclinaison du capteur solaire sur le rendement du capteur
- [22] « Modélisation, simulation et analyse des performances du chauffe eau solaire GTP »
- [23] « Contribution du chauffe eau solaire **GTP** à l’efficacité énergétique dans le secteur de l’habitat en Algérie. Etude comparative
- [24] Le chauffe-eau solaire individuel
- [25], Le soleil au service de votre confort, le chauffage et l’eau chaude solaires
- [26] Modélisation numérique d’un capteur solaire plan à air fonctionnant en régime transitoire en vue d’intégration au bâtiment présenté par **Rabéa. Kaoulal*1; Sidi Med ElAmine.Bekkouche2 ; Tayeb. Benouaz3 ; Sofiane.Kherrou**
- [27] http://fr.solarpedia.net/wiki/index.php?title=Chauffage_solaire_de_l%27eau_sanitaire
- [28] « Etude de performances d’un capteur solaire plan à eau présenté par **Aghilas BRAHIMI** » CH’4
- [29] <http://archives.maghrebemergent.info/entreprises/60-algerie/11962-un-chauffe-eau-solaire-100-algerien-de-gtp-sonatrach-un-peu-trop-cher.html>

[30] <http://www.lepanneausolaire.net/quels-sont-differents-types-chauffe-eau-solaires.php>

[31] « Etude comparative des performances thermiques d'un prototype de chauffe eau solaire pour deux sites algériens » présenté par **F. Sahnoune***, **M. Belhamel** et **M. Zelmat**

[32] « Etude et amélioration du rendement de la conversion photo thermique du capteur solaire »

[33] (Règle de l'art Grenelle environnement **2012**) Chauffe eau solaire individuel, conception et dimensionnement

[33] **Joe Bleau Snc2dB** « Effet de la température sur la masse volumique de l'eau »

[35] **EE22** chauffe eau solaire collectif

[36] « Etude et Modélisation du Comportement en Régime Transitoire d'un Capteur Solaire Plan ». Brahim Zitani

Résumé : Le chauffe-eau solaire est l'une des applications les plus importantes de l'énergie solaire, car il agit sur plusieurs grands secteurs consommateurs de l'eau chaude, tels l'habitat, l'hôtellerie, les hôpitaux, les casernes, etc..., qui peuvent satisfaire les besoins jusqu'à **80 %**, il contribue à la réduction des gaz à effet de serre et à la production d'énergie. Pour cet objectif, l'Algérie a mis en place un important programme pour le développement du chauffe-eau solaire pour les différents secteurs. Le but de cet article est d'étudier les performances thermiques du chauffe-eau solaire **GTP** à travers une étude comparative entre trois sites algériens, en l'occurrence Alger Bechar Tamanrasset. Le dimensionnement des installations se fait par le logiciel **TRNSYS** développé par le **CSTB**. Leurs allures sont représentées sous forme de graphes et tableaux traduisant les différentes variations de chaque paramètre. Les résultats obtenus démontrent que ce système est de bon rendement dans le site de Tamanrasset.

Mots clés : chauffe-eau solaire – thermosiphon – rayonnement solaire –simulation sous TRNSYS.

ملخص: سخان المياه الشمسي من أهم التطبيقات الطاقة الشمسية لأنه يؤثر على عدة قطاعات الاستهلاك للمياه الساخنة مثل الفنادق، المستشفيات و السكنات... الخ، التي يمكن أن تلبى الاحتياجات حتى **80%**، فهو يساهم في تخفيض غازات الاحتباس الحراري و توفير الطاقة .

و لهذا الغرض أنشأت الجزائر برنامج هام لتمنية سخان المياه الشمسي لمختلف القطاعات و الهدف من هذا المشروع هو دراسة فعاليته، و ذلك من خلال إجراء مقارنة تشيئية لهذا السخان في ثلاث مواقع جزائرية: تمنراست، بشار، دار البيضاء يتم حل جملة المعادلات المحصلة عليها باستعمال البرنامج الحسابي **تيرانسيس**. و النتائج قد قدمت على شكل جداول و منحنيات. و قد بينت هذه الأخيرة أن هذا النموذج فعال و مفيد للمواقع المدروسة.

كلمات البحث: سخان المياه الشمسي، الحرارية، محاكاة.

Abstract: The solar water heater is one of the most important applications of solar energy because it affects several areas large consumers of hot water as habitat, hotels, hospitals, barracks,...which can satisfy the need up to **80 %**, it contributes to the reduction of gases greenhouse and energy conservation. Why the Algeria has implemented a large program for the development of solar water heaters in different sectors. The purpose of our work is to study the thermal performance of solar heater through a comparative study between three Algerian sites namely, Algéria, Béchar, Tamanarasset, The sizing of the installations is made by the software TRNSYS developed by the CSTB. Their speeds are represented in the form of graph and paintings translating the variations of every parameter. The obtained result shows that this system has a good efficiency in the site of Tamanrasset.

Keywords: solar water heater - thermosiphon - solar radiation - simulation in TRNSYS.