

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Saad Dahlab Blida 1

Faculté des Sciences et de la Technologie



Département des Energies Renouvelables

Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de Master

Option Energies Renouvelables et Habitat Bioclimatique

**L'influence du puisage sur un chauffe-eau
solaire individuel alimentant un espace à
usage de bureau**

Réalisé par :

- MEHRAZI Salah-Eddine
- BOUDAA Sofiane

Encadré par :

Mme. MECHERI SAMI Sabrina

2019/2020

REMERCIEMENTS

On dit souvent que “ le trajet est plus important que la destination”.

Ce parcours en effet ne s'est pas réaliser sans défis, et sans soulever bon nombre de questionnement nécessitant plusieurs heures de travail afin d'être solutionner.

Après avoir grâce à Dieu le tout puissant et le miséricordieux nous tenons à remercier vivement tout ce qui de près ou de loin ont participé à la rédaction de ce document .Il s'agit plus particulièrement de :

Nos chers parents pour tout le soutien moral et matériel durant mon parcours.

Nos plus sincères remerciement à notre deux chers encadreur, madame MECHERI.SAMI.SABRINA et monsieur HAMID ABD EL KADER pour leur encadrement exemplaire, leur dévouement et leur disponibilité.

Et monsieur KACI Karim de nous avoir également suivis, guidé et orienter jusqu'à l'aboutissement de ce travail.

Nous adressons aussi nos remerciements aux membres du jury qui nous ont fait l'honneur d'évaluer notre travail, et d'y apporter leur regard d'expert.

Nous tenons également à exprimer notre profonde gratitude envers tous les enseignants du département des énergies renouvelables de Blida qui ont contribué de près ou de loin à notre formation. Ainsi qu'à tout le personnel, administration, archives et bibliothèque pour leur gentillesse et leur soutien.

DÉDICACE

Je dédie ce modeste travail :

À mes parents et spécialement à ma chère mère

À mes sœurs et mes frères

À toute ma famille

À tous mes enseignants

**À mes encadreurs : Mme MECHRI-SAMI-SABRINA et Mr
HAMID ABD EL KADER.**

À Mr KACI KARIM.

À tous mes amis et mes collègues.

**À Toute la famille du département des
énergies renouvelable.**

À tous ceux que j'aime et qui m'aiment.

SOFLANE

DÉDICACE

Je dédie ce travail :

À mes parents qui sont les deux êtres les plus chers pour moi.

À mes sœurs, et mes frères.

À toute ma famille et tous mes enseignants.

À mes encadreur : Mme MECHRI-SAMI-SABRINA et Mr HAMID ABD EL KADER.

À Mr KACI KARIM.

À tous mes amis et mes collègues.

À Toute la famille du département des énergies renouvelable.

À tous ceux que j'aime et qui m'aiment.

SALAH-EDDINE

Abstract

Renewable energies are natural energies that are renewed on a human scale precisely. They are an inexhaustible source of energy available at will. The solar water heater is a device for collecting solar energy intended to supply partially or totally domestic hot water (DHW) and it can produce 30 to 70% of the annual hot water needs of a family.

The installations of solar water heaters generally consist of solar collectors with circulation of liquid and a storage tank allowing the energy received from the sun to be accumulated.

The subject of our thesis relates to the study of the influence of drawing on an installation of an individual thermosiphon solar water heater "KSH models 302S".

Simulations were made on the "Transol" software of the installation "KSH models 302S". This installation is equipped with two flat solar collectors of the type: CC8 / 11.SU and a 300-liter tank, and fitted to supply an office space at the CDER in Bouzareah. The office is occupied by 3 people who consume between 6l and 10l / day / person.

The results obtained are interesting and satisfactory. We varied the draw-off profile since we carried out 3 simulations: for a withdrawal of 20l / day, 25l / day and 30l / day to study the solar fraction and the energy needs as a function of the months of the year and the back-up system supply during periods of no or insufficient sunshine.

The results showed that there is an inverse relationship between the solar fraction and the need for DHW per day per person.

We have also noticed that the more solar radiation received, the more the production of the solar system will increase and consequently our energy need will decrease.

It has been noticed that the energy needs during the winter period are higher than that of the summer season. After analyzing this graph, we can also say that the greater the need for domestic hot water, the more the net energy need increases to meet this consumption.

Regarding the integrated back-up system, we note that there is a significant consumption in the winter period and during the summer period the latter decreases to zero during the months (June, July, August) for the various rackings. We can say that in this period the system is autonomous and operates 100% solar.

We therefore notice that the consumption of the back-up system is greater without a solar system than with a solar system. We also note that the greater the needs, the greater the back-up consumption, hence the importance of using solar systems for large installations.

The results are promising and we recommend the generalization of collective or individual water heating systems to rationalize our energy consumption and reduce the consumer's energy bill.

Sommaire

Sommaire.....	1
Liste des figures.....	3
Liste des tableaux.....	4
Nomenclature.....	5
Introduction générale.....	8
Chapitre I : Etat de l'art.....	10
I- 1- Introduction.....	10
I- 2- Revue Bibliographique.....	10
Chapitre II : Généralités sur le chauffe-eau solaire.....	17
II- 1- Introduction.....	17
II- 2- Les différents types de chauffe-eau solaire.....	17
II- 3- Les différents composants du chauffe-eau solaire.....	18
II- 4- Principe de fonctionnement.....	25
II- 5- Des cas d'installations de chauffe-eau solaire qui existent dans le monde.....	26
II- 6- Puisage.....	27
Chapitre III : Bilan thermique du chauffe-eau solaire.....	29
III- 1- Introduction.....	29
III- 2- Bilan thermique du capteur plan	29
III- 3- bilan thermique de la cuve de stockage.....	40

III- 4- Etude de la circulation dans le système.....	43
III- 5- Le chauffe-eau solaire cas de notre étude.....	44
Chapitre IV : Résultats et discussion.....	47
IV- 1- Introduction.....	47
IV- 2- Description du logiciel transol.....	47
IV- 3- Présentation de la zone d'étude.....	51
IV- 4- Résultats et discussion.....	52
Conclusion générale.....	58

List des Figures

<i>Figure 2.1 : Représentation d'un chauffe-eau monobloc.....</i>	17
<i>Figure 2.2 : Chauffe-eau à thermosiphon.....</i>	18
<i>Figure 2.3 : Chauffe-eau à circulation forcée.....</i>	19
<i>Figure 2.4 : Chauffe-eau à auto vidange.....</i>	19
<i>Figure 2.5 : Capteur solaire sous vide.....</i>	20
<i>Figure 2.6 : Capteur solaire plan.....</i>	20
<i>Figure 2.7 : Exemples de cuve de stockage.....</i>	22
<i>Figure 2.8 : Types d'anodes de protection.....</i>	23
<i>Figure 2.9 : Exemples d'échangeur de chaleur serpentin.....</i>	24
<i>Figure 2.10 : système d'appoint.....</i>	25
<i>Figure 3.1 : Schéma de principe d'un capteur solaire plan.....</i>	29
<i>Figure 3.2 : Schéma du capteur étudié.....</i>	31
<i>Figure 3.3 : Les températures des différents éléments intervenant dans la détermination du rendement d'un capteur plan.....</i>	31
<i>Figure 3.4 : Schéma simplificateur d'un capteur plan étudié.....</i>	33
<i>Figure 3.5 : Schéma servant au calcul du bilan thermique.....</i>	33
<i>Figure 3.6 : Circuit électrique équivalent relative à un capteur solaire plan.....</i>	37
<i>Figure 3.7 : Schéma de la cuve de stockage.....</i>	40
<i>Figure 3.8 : Circuit électrique équivalent relative à un ballon de stockage.....</i>	42
<i>Figure 3.9 : Schéma hydraulique du chauffe-eau solaire KSH 302.....</i>	44
<i>Figure 3.10 : Représentation des côtés du ballon solaire.....</i>	45
<i>Figure 4.1 : Choix du type d'installation.....</i>	47
<i>Figure 4.2 : Propriétés de simulation.....</i>	48
<i>Figure 4.3 : Données météo.....</i>	49

<i>Figure 4.4 : Consommation moyenne journalière.....</i>	50
<i>Figure 4.5 : Simulation et résultats attendus.....</i>	50
<i>Figure 4.6 : Carte géographique du site.....</i>	51
<i>Figure 4.7 : Température d'extérieure et d'eau froide du site.....</i>	51
<i>Figure 4.8 : Fraction solaire des différentes consommations.....</i>	52
<i>Figure 4.9 : Radiation solaire et besoins énergétiques (soutirage : 20l/j).....</i>	53
<i>Figure 4.10 : Radiation solaire et besoins énergétiques (soutirage : 25l/j).....</i>	54
<i>Figure 4.11 : Radiation solaire et besoins énergétiques (soutirage : 30 l/j).....</i>	54
<i>Figure 4.12 : besoins énergétiques nets.....</i>	55
<i>Figure 4.13 : consommation de l'appoint en fonction des mois de l'année pour les différents soutirages.....</i>	56

Liste des tableaux

<i>Tableau 1.1 : Besoin d'eau chaude pour différents habitats.....</i>	28
<i>Tableau 4.1 : les fractions solaires annuelles par rapport ou différentes consommations.....</i>	53
<i>Tableau 4.2 : variation de couverture des besoins en fonction de volume de besoin.....</i>	56
<i>Tableau 4.3 : consommations du système d'appoint (avec et sans système solaire).....</i>	57

Nomenclature

Symbole	Signification	Unité
ϕ_{sa}	Flux solaire absorbé	W
$\phi_{p \rightarrow}$	Flux perdu par la paroi absorbante	W
ϕ_u	Flux utile transmis au fluide caloporteur	W
ϕ_{st}	Flux stocké dans le capteur	W
M_e	Masse en eau du capteur	Kg
$G_{(i,y)}^*$	Eclairement solaire incident sur le capteur	W.
α_{ps}	Coefficient d'absorption de la paroi absorbante	/
τ_{cs}	Coefficient de transmission du vitrage	/
S	Surface de la paroi absorbante	m ²
q_{cf}	Débit calorifique du fluide caloporteur	W. K ⁻¹
T_{fs}	Température de fluide caloporteur à la sortie	K
T_{fe}	Température de fluide caloporteur à l'entrée	K
U_T	Coefficient global de pertes du capteur	W/m ² .K
T_{pm}	Température moyenne de la paroi absorbante	K
T_a	Température de l'air extérieur	K
F'	Facteur de rendement du capteur	/
K	conductance thermique	W/m ² .K
T_p	Température de la plaque	K
w	Espacement entre deux tubes	mm
T_f	Température du fluide	K
p	Pas entre tuyauteries	mm
D_e	Diamètre extérieur de la conduite	mm
F	Rendement d'irrigation	/
η_w	Efficacité de l'ailette	/
x	Le périmètre mouillé de la conduite	mm
D_i	Le diamètre intérieur de la conduite	mm
th	Représente la fonction tangente hyperbolique	/
h_c	Coefficient d'échange par convection entre la paroi et le fluide	W/m ² .K
λ_p	Conductivité thermique du matériau constituant la plaque absorbante	W/m.K
λ_f	Conductivité thermique du fluide	W/m.K
δ	Epaisseur de la surface absorbante	mm
N_u	Nombre de Nusselt	/
D_h	Diamètre hydraulique	mm
L_T	Longueur des tubes	mm

μ_f	La viscosité à la température moyenne du fluide	pa.s
μ_p	La viscosité à la température moyenne des parois	pa.s
R_e	Nombre de Reynolds	/
G_r	Nombre de Grashof	/
P_r	Nombre de Prandtl	/
f_a	Masse volumique	Kg/m ³
g	Accélération de pesanteur	m/s ²
T_m	Température moyenne de l'air confiné entre l'absorbeur et la vitre	K
T_c	Température de la vitre	K
b	Distance absorbeur- vitre	mm
\dot{M}	Débit surfacique	Kg/s.m ²
L	Longueur du capteur	mm
\dot{m}	Débit massique	Kg/s
f	Masse volumique	Kg/m ³
\dot{V}	Débit volumique du fluide	m ² /s
n_t	Nombre de tuyauteries	/
l	Largeur de la surface absorbante	mm
C_p	Capacité calorifique du fluide	KJ / Kg. K
R_1	Résistance thermique entre le milieu ambiant et la vitre	m ² .K/W
R_2	Résistance thermique entre la vitre et l'absorbeur	m.K / W
R_3	Résistance thermique entre l'absorbeur et l'isolant	m.K / W
R_4	Résistance thermique entre l'isolant et le milieu ambiant	m.K / W
R_{av}	Résistance thermique vers l'avant du capteur	m.K / W
R_{ar}	Résistance thermique vers l'arrière du capteur	m.K / W
h_{c1}	coefficient d'échange thermique par convection entre la vitre et l'extérieur	W/m ² .K
h_{r1}	coefficient d'échange thermique par rayonnement entre la vitre et l'extérieur	W/m ² .K
h_{c2}	coefficient d'échange thermique par convection entre la surface absorbante et la vitre	W/m ² .K
h_{r2}	coefficient d'échange thermique par rayonnement entre à la surface absorbante et la vitre	W/m ² .K
ε_{abs}	coefficients d'émission infrarouge de l'absorbeur	/
ε_v	coefficients d'émission infrarouge de la vitre	/
λ_i	Conductivité thermique de l'isolant	W/m. K
λ_a	Conductivité thermique de l'air	W/m. K
σ	Constante de Stefan-Boltzmann	W/ m ² K ⁴

S_{in}	Inclinaison des capteurs	°
N	Nombre de couvertures	/
W	vitesse du vent	m/s
λ_i	Coefficient de conductivité thermique de l'isolant	W/m.K
e_i	Epaisseur de l'isolant	m
A_{lat}	Surface latérale du capteur	m ²
A_c	Surface du capteur	m ²
F_r	Facteur de conductance du capteur	/
D	Diamètre de tube	m
p_m	Périmètre mouillée de la section de passage	m ²
T_s	la température du stockage	K
R_{th}	Résistance thermique de la cuve de stockage entre le milieu ambiant et le fluide stocké	m.K / W
R_{thr}	Résistances thermiques radiales	m.K / W
R_{thc}	Résistances thermiques sur les côtés	m.K / W
L_{cv}	Longueur de la cuve	m
r_1	Rayon intérieur de la cuve	m
h_{cv}	Coefficient d'échange de la chaleur par convection	W/m ² .K
D'	Diamètre de cylindre intérieur	m
r_2	Rayon extérieur de la virole	m
λ_{ac}	Conductivité thermique de la virole	W m ⁻¹ K ⁻¹
R_{th3}	Résistance thermique de l'isolant	m ² .K / W
λ_{iso}	Conductivité thermique de l'isolant	W m ⁻¹ K ⁻¹
R_{th4}	Résistance thermique entre l'isolant et la tôle	m ² .K / W
λ_t	Conductivité thermique de la tôle	W m ⁻¹ K ⁻¹
e_{ac}	L'épaisseur de l'acier de la cuve	m
e_t	L'épaisseur du tube de la cuve	m
e_{iso}	L'épaisseur de l'isolant de la cuve	m
T_{lr}	Température de soutirage	K
H_p	La force totale due aux pertes de charge dans le système	/
H_m	La force motrice de l'eau dans le système	/
$H_p(\text{lin})$	Pertes de charge linéaires	/
$H_p(\text{sing})$	Pertes de charge singulières	/
v	la vitesse d'écoulement de l'eau dans les tubes	m/s

Introduction générale

Introduction générale

Les énergies renouvelables sont les énergies naturelles qui se renouvellent à l'échelle humaine précisément sont une source d'énergie inépuisable disponible à volonté .Ces sources sont diverses et variées. Elles sont issues des éléments naturels : le soleil, le vent, les chutes d'eau, les marées, la chaleur de la terre, la croissance des végétaux L'exploitation des énergies renouvelables n'engendre pas ou peu de déchets et d'émissions polluantes. Contrairement à celle des énergies fossiles. Ce sont les énergies de l'avenir grâce à eux on peut envisager un système de production énergétique prolifique plus respectueux de la nature.

L'Algérie amorce une dynamique d'énergie verte en lançant un programme ambitieux de développement des énergies renouvelables (EnR) et d'efficacité énergétique puisqu'elle dispose d'un gisement solaire très important .Cette vision du gouvernement algérien s'appuie sur une stratégie axée sur la mise en valeur des ressources inépuisables comme le solaire et leur utilisation pour diversifier les sources d'énergie et préparer l'Algérie de demain. Grâce à la combinaison des initiatives et des intelligences, l'Algérie s'engage dans une nouvelle ère énergétique durable.

Le programme des énergies renouvelables actualisé consiste à installer une puissance d'origine renouvelable de l'ordre de 22 000 MW à l'horizon 2030 pour le marché national, avec le maintien de l'option de l'exportation comme objectif stratégique, si les conditions du marché le permettent **[01]**.

Le programme d'efficacité énergétique actualisé vise à réaliser des économies d'énergies à l'horizon 2030 de l'ordre de 63 millions de TEP, pour l'ensemble des secteurs (bâtiment et éclairage public, transport, industrie), en introduisant l'éclairage performant, l'isolation thermique et les chauffe-eau solaires, les carburants propres (GPLc et GNc), et les équipements industriels performants. Ce programme de l'efficacité énergétique permettra de réduire les émissions de CO2 de 193 millions de tonnes.

Plusieurs programmes pour la promotion des chauffe-eau solaires sont lancés mais les efforts consentis pour la généralisation de leur utilisation en Algérie ne semblent pas porter leurs fruits. La demande sur ce produit écologique et économique en termes d'énergie, reste faible. Ceci, malgré la campagne publicitaire menée par l'Agence nationale pour la promotion et la rationalisation de l'utilisation de l'énergie **[02]** et l'apport financier de 45% alloué par l'Etat au profit des acquéreurs de cet équipement. D'autres programme plus attrayant devraient voir le jour surtout depuis que les autorités ont décidé d'installer des chauffe-eau solaires à grande échelle (mairies et siège de wilayas, écoles et mosquées) pour sensibiliser le citoyen à l'importance de l'adopter dans son quotidien.

Le chauffe-eau solaire est un dispositif de captage de l'énergie solaire destiné à fournir partiellement ou totalement de l'eau chaude sanitaire (ECS) et il peut produire de 30 à 70% des besoins annuels d'eau chaude d'une famille. L'application des chauffe-eaux solaires sont une solution, en raison de leurs faisabilités techniques économique amortis malgré l'investissement initial élevé.

Les installations des chauffe eau solaires sont généralement constituées de capteurs solaires à circulation de liquide qui effectuent la conversion du rayonnement électromagnétique émis par le soleil, en chaleur et permettent le transfert de cette énergie calorifique en la cédant à un fluide caloporteur. L'installation domestique est aussi constituée d'un réservoir de stockage permettant d'accumuler l'énergie reçue du soleil et d'une régulation et des fois même d'un système d'appoint et tous ses éléments sont raccordés par une tuyauterie étanche et calorifugée .

Les capteurs solaires plans sont utilisés pour les applications à basses températures et modérées, telles que le chauffage des locaux, la réfrigération et le séchage qui est une opération souvent nécessaire dans de nombreux processus (agro-alimentaires, matériaux de construction, bois...). Le rendement d'un capteur solaire, conçu pour convertir l'énergie solaire en énergie thermique dépend de sa forme, de la technique choisie et de la façon dont on réduit les pertes de chaleur à la surface de celui-ci. Il existe une gamme étendue de capteurs solaires avec différentes dispositions de l'absorbeur.

Notre étude sera consacré à la détermination de l'influence du paysage sur une installation d'un chauffe-eau solaire individuel thermosiphon "KSH modèles 302S". en fonction d'une simulation gérée par le logiciel "Transol". Cette installation est équipé de deux capteurs solaires plans de type : CC8/11.SU et d'un réservoir de 300 litres, et monté pour alimenter un espace à usage de bureau.

Notre travail se compose de 4 chapitres :

Le premier est une étude bibliographique sur les travaux effectués à travers le temps dans le monde et en Algérie sur le chauffage de l'eau sanitaire (collectif et individuel).

Le deuxième chapitre nous définissons en général le chauffe-eau solaire (composants, les différents types, principe de fonctionnement, les installations phares qui existent dans le monde.

Le troisième chapitre est consacré à la modélisation mathématique plus précisément le bilan thermique des différents éléments du chauffe-eau solaire (le capteur, la cuve de stockage "le ballon",...) .

Le quatrième chapitre est réservé à la présentation des résultats numériques obtenus à l'aide d'une simulation par le logiciel « Transol ».

Chapitre I

Etat de l'art

I- 1- Introduction :

L'énergie solaire est un immense gisement d'énergie naturel et gratuit. Les applications de l'énergie solaires sont très diversifiées. Quel que soit l'application, le principe de captation de l'énergie solaire est toujours utilisé. En ce moment, L'Algérie subit une augmentation en de la demande en énergie pour les besoins domestiques qui suit une courbe ascendante, ajouté à cela une population en net progression ; une part importante du gaz naturel est consommée par les ménages. L'eau chaude sanitaire occupe une part relativement importante. L'utilisation de l'énergie solaire dans la production de l'eau chaude sanitaire. À cet effet, sachant que l'Algérie dispose d'un gisement solaire important et d'une durée d'ensoleillement très large, l'application des chauffe-eaux solaires sont une solution, en raison de leurs faisabilités techniques et économiques amortis malgré l'investissement initial élevé.

Nous allons citer dans ce premier chapitre les principaux travaux effectués des chauffe eau solaires et ce qui concerne leurs modélisations (théoriques et expérimentaux).

I- 2- Revue Bibliographique :

Plusieurs travaux sont recensés à travers le monde en ce qui concerne la production d'eau chaude sanitaire nous citons entre autres :

En 2005, K.JOHANNES [03] a conçu un réservoir de stockage à stratification, fonctionnant aussi bien dans les systèmes solaires domestiques que dans les grands systèmes solaires comme les bâtiments. Le code Fluent CFD a été utilisé pour simuler le mouvement du fluide à l'intérieur d'un réservoir domestique et collectif. Le but des travaux étant d'optimiser les grands systèmes solaires d'eau chaude sanitaire, il a élaboré un modèle TRNSYS pour simuler la production solaire d'eau chaude sanitaire dans de tels systèmes. Les données expérimentales ont été utilisées pour valider ce modèle. En effet, le système solaire d'une maison de retraite «Les Berges de l'Hyères» située à Chambéry (73) a été surveillé pour obtenir les bilans énergétiques des composants. Ce modèle a ensuite servi de base de comparaison des différentes solutions est basée sur le taux de couverture solaire corrigé. Les conclusions à l'issue de ces simulations sont très satisfaisantes. En effet, les installations solaires collectives décentralisées atteignent des taux de couverture solaire corrigés de 30% et réduisent ainsi sensiblement les rejets de CO₂. L'analyse économique montre que les installations à production solaire centralisée et à appoint individualisé, ainsi que les installations décentralisées, permettent d'effectuer des économies non négligeables sur la fourniture de l'énergie d'appoint. Cependant, l'investissement initial est fonction du nombre de ballons mis en place, et par conséquent, les temps de retour sont plus ou moins intéressants.

En 2007 A. Diop SY [04] a réalisé une étude expérimentale sur le chauffe-eau solaire (conception et réalisation) qui consiste en la vérification de l'efficacité du système par le biais de mesure des températures d'entrée et de sortie du capteur, ainsi que la température au

niveau du ballon de stockage pendant une durée de 24 heures. Cette opération sera renouvelée à trois reprises, les températures seront mesurées à l'aide de thermocouple au niveau de l'entrée et de la sortie du capteur ainsi qu'au niveau du réservoir. L'objectif visé était de garantir à une famille de 15 personnes de façon continue l'eau chaude sanitaire et ceci à un coût moindre.

La même année Y. Bai et al [05] pour l'optimisation des performances énergétiques, économiques et environnementales des installations de production d'eau chaude solaire individuelles. Ils ont fait l'expérimentation du CESI réalisé à l'INES qui a permis d'étudier les performances dans différentes configurations. L'installation est constituée de deux champs de capteurs (2 et 4 m²/CLIPSOL) connectés en parallèle. Le ballon de stockage d'un volume de 400 litres. Présente un échangeur interne. Les résultats expérimentaux de la première partie ont permis de valider les modèles numériques. Notamment pour les faibles débits. Cette comparaison numérique des performances énergétiques a été étudiée sous TRANSYS.

En 2010 M.M.A. Khana et al [06] ont fait une étude qui comprend la conception et l'analyse expérimentale d'un système de chauffage solaire de l'eau domestique. Des systèmes de chauffage de l'eau avec des capteurs vitrés et non vitrés ont été construits et testés à Dacca, au Bangladesh, à une latitude de 23,7 °N. L'efficacité thermique du capteur et sa capacité à augmenter la température de l'eau ont été considérées comme des mesures d'évaluation des performances. Une analyse journalière typique a montré que l'efficacité du capteur variait avec le temps et atteignait son pic vers midi. Lors des tests, l'efficacité du capteur vitré a augmenté d'environ 70,3% par rapport au capteur non vitré. L'efficacité moyenne des capteurs sur toute la période d'essai a également été estimée à 57,3% et 33,7% pour les capteurs vitrés et non vitrés, respectivement. Comme matériau de vitrage avait un effet significatif sur l'élévation de température de l'eau s'écoulant à travers le capteur. Un système de chauffage solaire de l'eau domestique avec un capteur vitré s'est finalement révélé prometteur pour l'amélioration des performances du système.

En 2014 M.PICON NUNEZ et al [07] ont réalisé une étude sur la conception des configurations la plus appropriée de capteur solaire pour des applications industrielles, où ils ont présenté les outils pour la conception et la sélection de l'agencement de réseau le plus approprié pour une application donnée en fonction de la perte de charge spécifiée pour le débit de fluide, de la température requise et de la charge thermique. Un modèle thermo-hydraulique pour les réseaux de capteurs solaires est présenté et sa solution est représentée graphiquement avec la longueur de l'échangeur en fonction du nombre de réseaux en parallèle. La prédiction théorique des températures de sortie a été comparée à des mesures expérimentales pour diverses combinaisons de conditions de fonctionnement avec une erreur maximale de 1,35%. Ainsi, l'application du modèle a été étendue au cas d'un ensemble de capteurs en série et à partir de là elle a été étendue pour considérer l'effet des agencements série-parallèle. Les modèles thermique et hydraulique sont résolus séparément de sorte que deux espaces de solution sont représentés dans le même graphique. Pour un rayonnement solaire donné, le nombre de capteurs en série détermine la température maximale à atteindre tandis que le

nombre de capteurs en parallèles est lié à la quantité de débit d'eau à traiter ; la combinaison requise de capteurs représente la structure du champ. Une méthodologie de conception de champ de capteurs solaires a ainsi été développée.

En 2016 Zhiyong Zhou et al [08] Ont fait une comparaison des performances thermiques de deux systèmes de chauffe-eau solaire domestique collectif (CSDWHS), un avec un seul réservoir d'eau et un avec deux réservoirs d'eau, basée sur des données de test. Car faire un choix entre les deux systèmes est un problème compliqué à résoudre pour les concepteurs, car il implique de nombreux facteurs d'influence, tels que le coût, la fonction, la maintenance, etc. Le CSDWHS testé, avec ses capteurs installés sur le toit d'un dortoir de six étages situé à Yuxi (longitude 102,52 ° E, latitude 24,35 ° N), dans la province du Yunnan, fournit de l'eau chaude à 128 personnes. Le CSDWHS a une surface totale d'absorbeur de 76,8 m² et comprend 12 capteurs à tube à vide de même taille inclinés à 45 °, qui sont fixés sur une base préfabriquée et orientés vers le sud et chaque capteur se compose de 50 tubes à vide. Le volume du ballon de stockage de chaleur et du ballon d'eau chaude est respectivement de 5,5 et 3,5 m³. Les deux réservoirs sont en acier inoxydable et sont enveloppés dans du polyuréthane de 50 mm pour l'isolation thermique. Les indices de performance thermique utilisés dans cette étude comprennent l'énergie collectée, le gain d'énergie utile quotidien, la fraction solaire, l'efficacité du capteur, l'efficacité du système, le facteur de perte de chaleur du système et le facteur de perte de chaleur moyen. Afin de faire la comparaison, un CSDWHS a été testé deux fois, ces deux tests ont été divisés en deux phases, la première est de 8 h à 18 h et la deuxième est de 20 h à 6 h le lendemain. Les rendements des capteurs dans les premier et deuxième tests étaient respectivement de 55,29% et 54,79. Les facteurs de perte de chaleur du système dans les premier et deuxième tests étaient respectivement de 0,79% et de 0,91%, et les facteurs de perte moyens étaient de 7,16, 7,01 et 6,84 W / m³ K. Ce qui suggère que la perte de chaleur d'un CSHWS avec de l'eau double est supérieure à celle d'un seul réservoir d'eau dans la première phase, mais inférieure dans la deuxième phase, et que la température initiale de l'eau et le volume du réservoir pourraient être les facteurs influençant la perte de chaleur dans la deuxième phase. Les performances thermiques des deux différents CSHWS testés ont été analysées sur la base des données de test, afin que des mesures efficaces puissent être prises pour améliorer l'efficacité énergétique de l'ensemble du système.

En 2019 Liang liang Sun et al [09] ont traité du matériau à changement de phase qui est utilisé comme fluide caloporteur dans le système de chauffage solaire de l'eau, comme moyen d'améliorer l'efficacité thermique. Dans cet article, les auteurs ont utilisé l'émulsion de paraffine composite de graphène comme fluide de transfert de chaleur dans un système de matériau à changement de phase de chauffage de l'eau solaire (CES-MCP). En comparant avec le système traditionnel de chauffage solaire de l'eau (CES), les caractéristiques de performance thermique du système CES-MCP ont été étudiées expérimentalement. Le système CES-MCP a un stockage de chaleur plus élevé que le système CES. Le stockage de chaleur du système CES-MCP et du système CES augmente tous avec l'augmentation de

l'irradiation solaire, tandis que l'efficacité thermique a la tendance inverse. Le débit a une plus grande influence sur le rendement thermique du système CES-MCP que celui du système CES. Avec un débit de 200L/h, le rendement thermique du système CES-MCP est 14,21% supérieur à celui du système CES. En résumé, le système CES-MCP est un système de chauffage solaire de l'eau prometteur avec un stockage de chaleur et une efficacité thermique élevée.

En Algérie et sur le même sujet nous retrouvons ses travaux :

En 2002 A. Hamid et al [10] qui ont fait une étude et une réalisation d'une Installation solaire de chauffage d'eau collectif. L'article se comporte de deux parties, la première partie consiste à dimensionner, réaliser et expérimenter une installation de chauffage d'eau collectif d'une capacité de 400 litres composé de capteurs de production locale, chaque capteur a une surface de 1,2 m². Les tests ont été effectués au niveau du C.D.E.R en mesurant l'éclairement solaire, le débit massique et les différentes températures du champ de captage et dans la cuve de stockage. Les résultats pour la journée du 31/08/99 sont présentés en forme de graphe. Et la deuxième partie de l'article 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 en utilisant la méthode F chart, pour le calcul de l'énergie d'appoint ils ont constaté que le climat est un paramètre important, dans lequel ils ont choisi un des sites représentant le zonage climatique Algérien (zonage de Borel).

En 2003 S.SAMI-MECHERI et al [11] ont étudié la rentabilité d'une installation solaire de chauffage d'eau collectif appliqué à différents sites algériens. Pour l'objet d'élaborer un modèle mathématique pour la détermination des surfaces optimales des installations solaires de chauffage d'eau collectif. Le critère d'optimisation est la minimisation du coût total de l'installation. Ceci en tenant compte, des coûts des différents composants, du prix de l'énergie conventionnelle consommée par le système d'appoint, et des performances thermiques de l'installation à partir de la méthode F-Chart. Le modèle permis de voir l'influence du coût de capteur et du prix de l'énergie conventionnelle sur les surfaces optimales des différents sites Algériens. Les résultats sont présentés en forme de graphe. Ils ont constaté qu'avec les coûts des capteurs (au terme de l'étude) l'investissement n'est pas rentable et le solaire n'est pas du tout compétitif.

En 2008 S-A. Hakem et al [12] ont fait une étude sur une modélisation et un test d'un chauffe-eau solaire composé essentiellement d'un capteur solaire plan et d'une cuve de stockage cylindrique de capacité égale à 190 L, isolée avec échangeur en forme de serpentin. Un banc expérimental pour le test a été mis en place et le résultat de la journée du 10/10/2007 est présenté. Cette étude a permis de déterminer la performance instantanée du capteur solaire plan pour la détermination de ces caractéristiques et pour la seconde simulation a été développé pour caractériser l'effet thermosiphon en fonction du débit. Enfin on peut dire que ces deux programmes constituent un bloc nécessaire à la détermination des performances journalière du chauffe-eau solaire.

La même année S-A.Hakem[13] 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%".

En 2011 A. Berchide[14] a étudié une expérimentation 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. Ensuite 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.

La même année I. Zeghib et al [15] Ont présenté la modélisation d'une installation Solaire de Chauffage d'Eau sanitaire. Les résultats de simulations effectuées sur une base quotidienne pour un système solaire (capteur d'une surface de 2 m² et un ballon de stockage de 200 litres), effectuée à Constantine (Algérie), qui fournit de l'eau chaude pour le chauffage. L'installation consiste en un capteur solaire plan, un réservoir de stockage d'eau, une source d'énergie auxiliaire et des radiateurs. Ils ont analysé plus précisément l'influence du débit du thermosiphon et par conséquent le degré de stratification du réservoir sur les performances du système de chauffage de l'eau.

En 2012 M. Koussa et al [16] Ont développé un programme Matlab permettant de calculer à long terme les performances d'un système de chauffe-eau solaire, on utilisant un système composé de 8 capteurs plans de surface de 2.07 m² et l'ensemble constitue une surface réceptrice équivalente de 16.56 m², la structure porteuse inclinée selon l'angle optimum saisonnier et orientée plein sud, cuve de stockage, appoint électrique et nécessitant que quelques paramètres météorologiques. Le programme est basé sur la méthode f-chart. Pour la validation du programme, ils ont retenu le site de Bouzaréah, où est installé le système de

chauffage collectif. Le travail présente une certaine originalité car il permet d'utiliser uniquement des données météorologiques disponibles dans les stations de l'office national de la météorologie pour pouvoir évaluer les performances à long terme d'un système de chauffage collectif d'eau chaude sanitaire. Ainsi, les performances de la méthode utilisée a été validé par la confrontation des résultats obtenus par le programme Matlab développé avec ceux obtenus par le logiciel "Simsol" issu du logiciel "TRANSYS" et destiné à l'évaluation des performances et les résultats obtenus sont très satisfaisants.

En 2015 M. Benbrika et al [17] ont étudié numériquement l'importance des matériaux à changement de phase (MCP), par l'analyse de leur potentiel de stockage de l'énergie solaire par chaleur latente d'un matériau à changement de phase dans une installation pour produire l'eau chaude sanitaire. L'étude consiste à comparer le comportement thermique de deux chauffe-eaux solaires : un chauffe-eau solaire-classique et un chauffe-eau solaire MCP. Le modèle mathématique utilisé pour simuler le changement de phase dans le MCP est basé sur la formulation enthalpique de l'équation de conservation de l'énergie. La méthode des différences finies est employée pour la résolution numérique du modèle retenu. Pour valider le modèle mathématique, une comparaison des prédictions numériques réalisées avec une solution analytique. Les résultats montrent que l'énergie stockée par chauffe-eau solaire MCP est presque 320% plus que l'énergie stockée par chauffe-eau solaire classique. Le but de ce travail a été l'étude numérique de l'importance des matériaux à changement de phase (MCP), par l'analyse de leur potentiel de stockage de l'énergie solaire par chaleur latente pour produire l'eau chaude sanitaire par une simulation 1D du processus de la fusion d'une plaque de MCP d'épaisseur $e=0.0025\text{m}$ supposant que $X=0$ à la paroi externe de la plaque. Qu'elle est initialement à $T_i=57^\circ\text{C}$ et la T° du fluide caloporteur $T_u=69^\circ\text{C}$ la température de changement de phase du MCP RT64HC du constructeur Rubitherm $T_f=64^\circ\text{C}$ et le coefficient d'échange thermique entre la plaque et le FC : $h=220\text{W}/\text{m}^2.\text{C}$ et puisque les plaques sont refroidies de part et d'autres donc la fusion commence de 2 surfaces extérieure vers le centre .Afin d'examiner et valider le programme. Le modèle mathématique utilisé pour simuler le changement de phase dans le MCP est basé sur la formulation enthalpique de l'équation de conservation de l'énergie. La méthode des différences finies est employée pour la résolution numérique du modèle retenu. Pour valider le modèle mathématique, une comparaison des prédictions numériques réalisées avec une solution analytique. Les résultats montrent que l'énergie stockée par chauffe-eau solaire MCP est presque 320% plus que l'énergie stockée par chauffe-eau solaire classique.

En 2018 A. Harmimet al [18] ont fait une réalisation et expérimentation d'un nouveau chauffe-eau solaire de type capteur-stockeur doté d'un concentrateur en forme de branche parabolique linéaire. Le concentrateur est constitué de petits miroirs rectangulaires montés sur un cadre en bois. Le dispositif a été conçu pour permettre son intégration au mur de l'habitation en milieu saharien Algérien et ainsi répondre aux besoins des ménages en matière d'eau chaude sanitaire en période hivernale uniquement. Les miroirs du concentrateur peuvent être pilotables selon le principe des abat-jours vénitiens et le dispositif permettra

alors l'aération de l'habitation en période estivale. Un prototype a été réalisé et testé sous les conditions hivernales réelles d'Adrar, les résultats obtenus confirment la faisabilité de ce genre de système pour satisfaire les besoins des ménages sahariens en matière d'eau chaude sanitaire en période hivernale uniquement. Le système, tel que conçu, présente une simplicité de construction robuste et adapté aux conditions climatiques hostiles du milieu saharien avec des performances thermiques assez bonnes.

Le sujet de notre mémoire porte sur l'étude de l'influence du puisage sur une installation d'un chauffe-eau solaire individuel thermosiphon "KSH modèles 302S" à l'aide d'une simulation gérée par le logiciel "Transol". Cette installation est équipé de deux capteurs solaires plans de type : CC8/11.SU et d'un réservoir de 300 litres, qui alimente un bureau de trois personnes avec un puisage variant en moyenne entre 6-10l/jour /par personne.

Chapitre II

Généralités sur le chauffe-eau solaire

II- 1- Introduction :

Un chauffe-eau solaire est un dispositif qui transforme l'énergie solaire en chaleur pour produire de l'eau chaude sanitaire. Cet équipement permet de chauffer une partie de son eau sanitaire et faire des économies d'énergie en préservant l'environnement. Cette installation peut en effet assurer pendant 6 mois de l'année jusqu'à 90 % de votre besoin énergétique.

II- 2- Les différents types de chauffe-eau solaire :

II- 2-1- Les chauffe-eau monoblocs :

Ce sont les chauffe-eau les plus simples : le ballon et le capteur solaire forme un seul ensemble compact, comme le montre la figure 2.1. En général, le ballon est fixé en haut du panneau solaire. Dans un système monobloc, c'est directement l'eau chaude sanitaire qui circule dans les capteurs. Réchauffée par le rayonnement solaire, l'eau devient moins dense et monte dans le ballon. Il n'y a donc pas besoin de pompe.

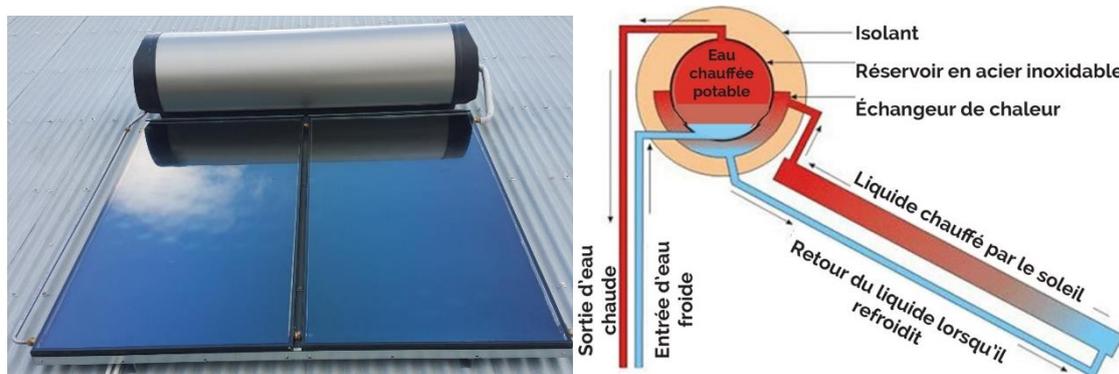


Figure 2.1 : Représentation d'un chauffe-eau monoblocs.

L'inconvénient, c'est que la proximité du ballon avec le capteur fait sur la toiture, un ensemble peu esthétique. De plus c'est un chauffe-eau réservé au pays chaud.

II- 2-2- Les chauffe-eau à thermosiphon :

Ce genre de modèle permet d'avoir une meilleure esthétique que le système monobloc tout en étant simple à l'installation. Dans les chauffe-eau à thermosiphon, le ballon est séparé des capteurs solaires. Alors que les capteurs restent à un niveau plus bas que le ballon de stockage, ce qui permet à l'eau de circuler par « effet de thermosiphon ».

Il faut savoir que le système de thermosiphon repose sur le principe selon lequel l'eau chauffée va devenir plus légère que l'eau froide (moins dense) et va rapidement monter dans le ballon. L'eau froide quant à elle, devient alors plus lourde et va descendre jusqu'au capteur solaire, comme montre dans la figure 2.2

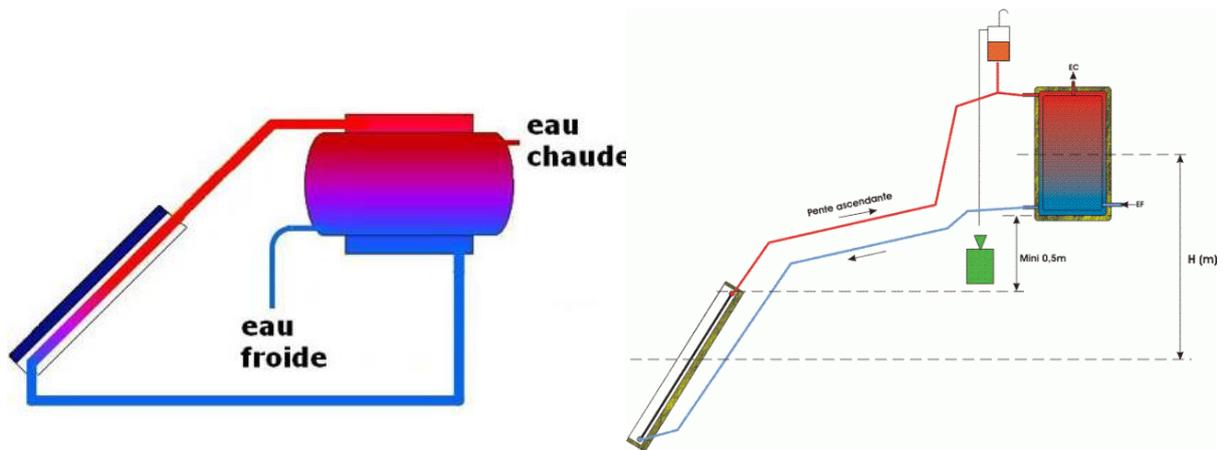


Figure 2.2 : Chauffe-eau à thermosiphon.

II- 2-3- Les chauffe-eau à circulation forcée :

Une pompe assure le transfert du fluide (le mouvement) entre les panneaux et l'échangeur simplement cette dernière joue le rôle d'un circulateur.

Dans ce système, la position du ballon par rapport aux capteurs n'a pas d'importance, comme le représente la figure 2.3.

Le liquide qui circule dans les panneaux solaires est un fluide qui ne craint pas le gel (en général de l'eau glycolé «propylène glycol » qui représente un antigel). Comme ce liquide, qu'on l'appelle un fluide caloporteur (qui transporte la chaleur), est impropre à la consommation et ne doit pas être mélangé à l'eau chaude sanitaire, la chaleur est récupérée dans le ballon à travers un échangeur. Un échangeur à l'intérieur du ballon qui isole le fluide caloporteur de l'eau sanitaire. On se trouve donc en présence de deux circuits : un circuit qui réchauffe le fluide dans les panneaux. Un circuit qui transporte l'eau sanitaire aux robinets. L'échange des calories se fait dans le ballon de stockage (le réservoir central).



Figure 2.3 : Chauffe-eau à circulation forcée.

II- 2-4- Les chauffe-eau à auto vidange :

C'est une autre alternative pour éviter le risque de gel. Elle consiste à vider les panneaux solaires en période de non utilisation. Dans ce cas, le ballon est toujours situé plus bas que les panneaux solaires, comme le montre la figure 2.4.

Dès que le soleil ne chauffe plus, la circulation entre les panneaux et le ballon s'arrête et le circuit se vidange automatiquement. Dès que l'ensoleillement reprend, la circulation se remet en route. Dans ce cas on utilise directement l'eau sanitaire dans le circuit.

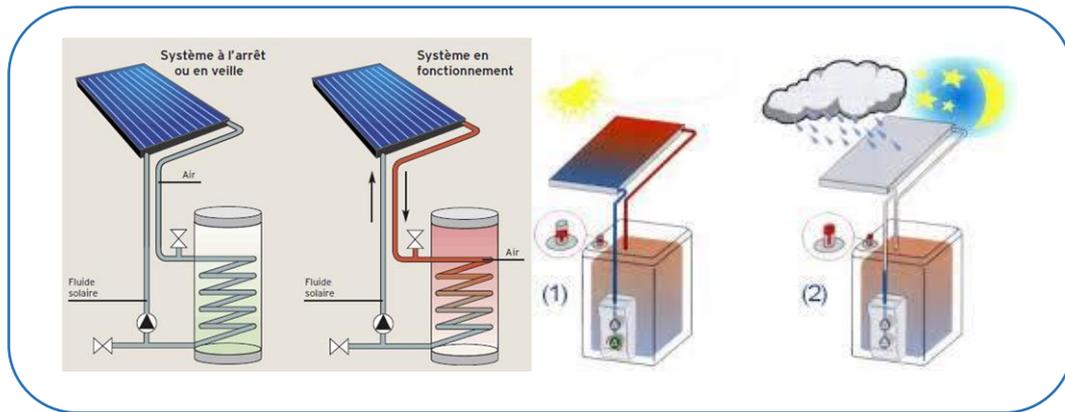


Figure 2.4 : Chauffe-eau à auto vidange.

II- 3- Les différents composants du chauffe-eau solaire :

II- 3-1- Le capteur solaire :

Le capteur solaire est l'élément de base pour la transformation de l'énergie solaire en chaleur. Il existe deux grandes familles de capteurs solaires thermiques :

- les capteurs solaires plans.
- les capteurs solaires sous vide.

II- 3-1-1- Le capteur sous vide :

- A l'intérieur des capteurs plans règne la pression de l'air ambiant, grâce souvent à de petites ouvertures pratiquées dans l'enveloppe du capteur. La circulation de l'air entre l'absorbeur et la plaque de couverture joue un rôle important dans le cadre des pertes énergétiques au niveau de la plaque absorbante. Il est toutefois possible de remédier à cette déperdition par convection en éliminant l'air du capteur, c'est-à-dire en utilisant des capteurs sous vide
- Dans ce cas, l'absorbeur est inséré dans un tube en verre sous vide (de longueur de ± 2 m et de ± 10 cm de diamètre). Les différents tubes arrivent en leur sommet dans un collecteur qui les rassemble. Chaque tube est donc mis sous vide.



○

Figure 2.5 : Capteur solaire sous vide.

II- 3-1-2- Le capteur solaire plan :

Un capteur solaire plan est composé des éléments suivants que nous détaillerons par la suite :

- un corps opaque qui absorbe le rayonnement solaire en s'échauffant (l'absorbeur).
- un système de transfert de chaleur par le fluide « caloporteur ».
- une isolation thermique arrière et latérale.
- une couverture transparente qui assure l'effet de serre et évite le refroidissement de l'absorbeur en le protégeant du vent.

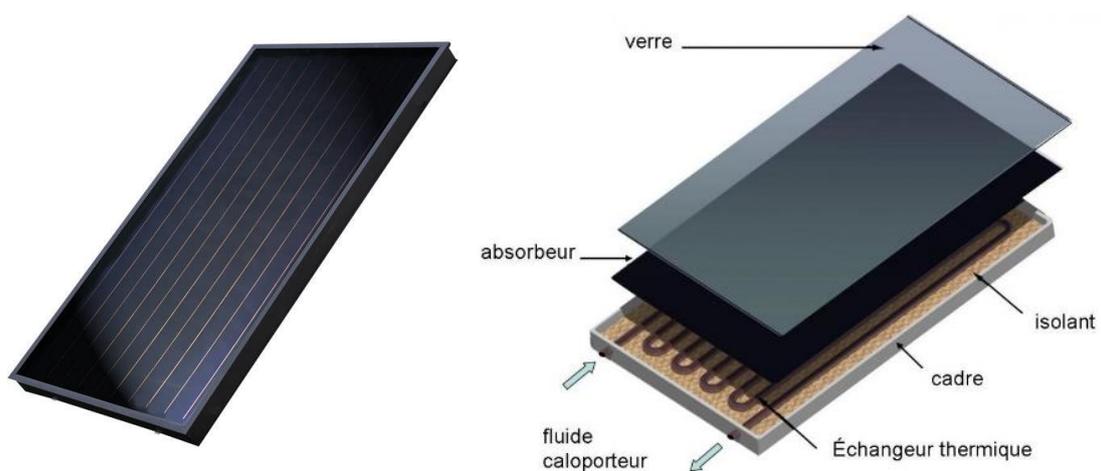


Figure 2.6 : Capteur solaire plan.

II- 3-1-2-A- Le coffre ou le cadre :

Le coffre du capteur renferme les différents éléments actifs. Il devra donc assurer une protection efficace contre les agents atmosphériques à long terme.

Les coffres des capteurs sont réalisés la plupart du temps en acier inoxydable ou en aluminium anodisé. L'anodisation offre à l'aluminium une résistance élevée aux agressions du milieu extérieur et a un prix inférieur à l'acier inoxydable.

II- 3-1-2-B- La couverture transparente :

La couverture a une fonction de protection de l'absorbeur, mais elle joue aussi un rôle important dans le bilan thermique en réduisant les pertes de chaleur. Habituellement, on utilisera le verre comme couverture transparente.

La propriété physique intéressante du verre est qu'il permet de laisser passer le rayonnement solaire et d'arrêter le rayonnement infrarouge d'un émetteur tel que celui de l'absorbeur. La chaleur est donc bloquée entre l'absorbeur et la couverture : c'est l'effet de serre.

La couverture doit présenter une bonne résistance aux chocs, aux brusques variations de températures ainsi qu'aux températures élevées.

Une appellation « verre solaire » existe et fait l'objet d'exigences toutes particulières :

- le verre doit être trempé pour résister sans risques aux charges thermiques et mécaniques.
- il doit présenter un haut degré de transmission solaire caractérisé par une faible teneur en fer.
- il doit être doté d'une surface structurée permettant de réduire les reflets directs.

La qualité du verre est caractérisée par son rendement optique ou taux de transmission qui dépend de la nature et de l'épaisseur du vitrage ainsi que de l'angle d'incidence i et de la nature du rayonnement (direct ou diffus) (valeur habituelle de τ : 0,91).

Actuellement, un nouveau verre dit « antireflet », équipe certains capteurs. Ce verre à un taux de transmission de l'ordre de 96% et son effet se marque davantage pour le placement de capteurs à la verticale.

II- 3-1-1-C- L'absorbeur :

Deux fonctions incombent à l'absorbeur :

- absorber la plus grande partie du rayonnement solaire possible
- transmettre la chaleur produite vers le fluide caloporteur avec un minimum de pertes.

De plus, il devra être le plus léger possible afin de limiter l'inertie de mise en régime et construit avec un bon matériau conducteur.

II- 3-1-1-C-a- Le support :

Les absorbeurs sont généralement réalisés avec des feuilles minces de métaux présentant une bonne conductibilité et une bonne tenue mécanique. C'est pourquoi, la plupart du temps,

les absorbeurs sont réalisés au moyen d'un support en cuivre de 0,2 mm et sont recouverts par un traitement de surface.

II- 3-1-1-C-b- La sélectivité : le traitement de surface :

Le rôle de l'absorbeur est de capter au maximum le rayonnement et d'en réémettre le moins possible. Ces types de surfaces absorbant au maximum et réémettant au minimum ont été nommées surfaces « sélectives ».

La sélectivité de l'absorbeur est très importante; elle est améliorée au moyen de traitements de surface qui ajoutent au support des caractéristiques telles que le rayonnement solaire est très bien absorbé et que le rayonnement infrarouge émis (dû à l'échauffement) est limité.

Deux coefficients déterminent les caractéristiques de ces absorbeurs :

- α : coefficient d'absorption (0 à 1, optimum : 1)
- ϵ : coefficient d'émission (0 à 1, optimum : 0)

II- 3-2- La cuve de stockage :

La cuve de stockage est un élément indispensable dans une installation de production d'eau chaude solaire. Elle permet de stocker une importante quantité d'eau chaude venant des capteurs qui sera utilisé selon les besoins. Elle peut être sans échangeur ou avec échangeur intégré, comme elle peut être installée horizontalement (phénomène de brassage) ou verticalement (phénomène de stratification).

Une bonne isolation est importante en utilisant une isolation appropriée avec une épaisseur bien déterminée afin d'éviter les pertes thermiques vers le milieu extérieur.

Suivant la disposition de stockage on distingue deux différents types :

- Stockage long duré (entre une saison et l'autre).
- Stockage court durée (ne dépassant pas quelques heures).

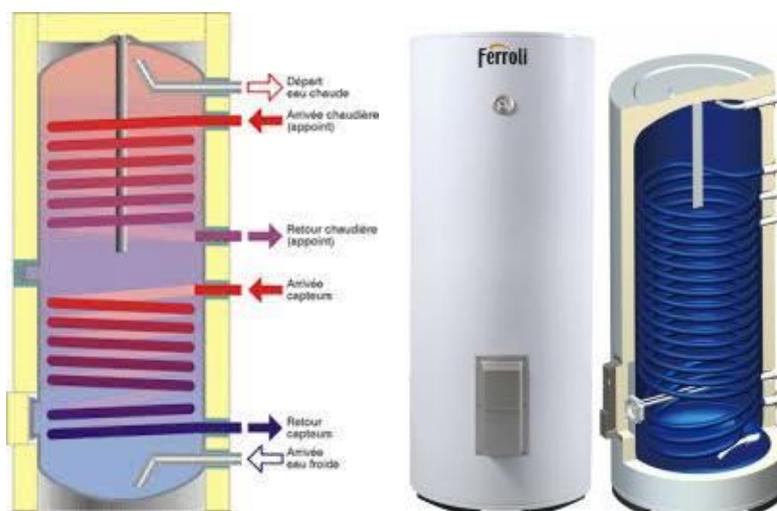


Figure 2.7 : Exemples de cuve de stockage.

II- 3-2-1- Le revêtement :

Différents types de revêtements peuvent être utilisés pour les réservoirs de stockage, le critère essentiel étant la résistance à la corrosion. Le boiler en acier inoxydable est donc le préféré, mais toutefois les réservoirs de stockage en cuivre et en acier émaillé avec anode de protection conviennent également et sont à un coût inférieur. Deux grand types d'anodes de protection existent :

- **L'anode sacrificielle au magnésium (a)** : l'anode au magnésium se corrode à la place du réservoir de stockage. Mais cette anode se consomme et il faut donc contrôler son efficacité tous les deux ans et la remplacer si nécessaire.
- **L'anode à courant imposé (b)** : dans ce cas, l'anode est inattaquable, il est donc inutile de vérifier son efficacité. Ce procédé néanmoins nécessite d'être alimenté de manière permanente, mais sa consommation est inférieure à 25 kWh par an.

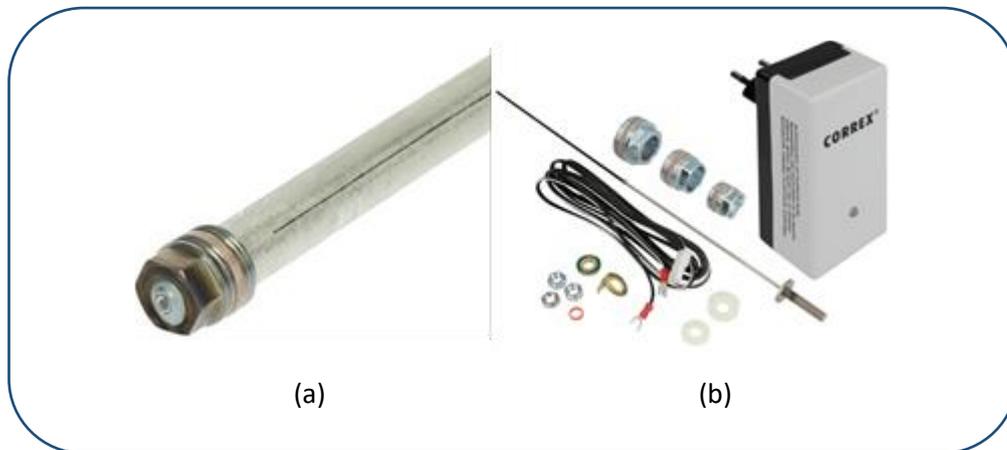


Figure 2.8 : Types d'anodes de protection.

II- 3-2-2- L'isolation :

La qualité de l'isolation du ballon de stockage revêt une grande importance. On parle de matériau isolant lorsque le coefficient de conductivité thermique (k) est inférieur à $0,065 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$. Plus cette valeur k est faible, moins la chaleur traversera le matériau et donc plus grand sera son pouvoir isolant.

Une autre manière plus facile de comparer les déperditions thermiques de différents boilers est de comparer leur déperdition propre exprimée en kWh/24h ou en °C/24h pour une température de stockage donnée. Dans ces cas, le matériau et l'épaisseur d'isolation sont déjà pris en compte ; ce qui rend la comparaison plus facile.

II- 3-2-3- la capacité :

Le dimensionnement du volume du boiler ne se fait pas sur base de la consommation d'une journée. Il faut prévoir un volume de stockage de 1,3 à 1,7 fois la consommation journalière

en eau chaude sanitaire afin de pouvoir stocker de l'eau chaude pour deux jours, ce qui permet de prendre en compte partiellement les effets climatiques. Il est habituellement conseillé aussi de prévoir un stockage de 50 à 80 l par mètre carré de capteurs plans

II- 3-2-4- la légionellose :

Les légionelloses (germe bactérien) ont tendance à proliférer dans des eaux stagnantes à des températures de 25 à 45°C, ce qui n'est habituellement pas le cas pour l'utilisation normale d'un chauffe-eau solaire chez les particuliers. Si un puisage journalier n'est pas effectué, des mesures sont recommandées pour éviter l'apparition de légionellose dans l'eau chaude sanitaire :

- le contenu utile du chauffe-eau doit être hebdomadairement porté à une température de 60°C au moins pendant une heure.
- à température mesurée à la prise d'eau chaude doit atteindre au moins 50°C.

II- 3-3- Les échangeurs de chaleur :

L'échangeur de chaleur est un dispositif dans lequel se réalise un transfert thermique entre deux milieux dû à une différence de température entre les deux milieux.

Le principe de son fonctionnement consiste à faire circuler le fluide caloporteur à travers des conduits qui mettent les deux milieux en contact thermique. Donc le liquide caloporteur après avoir été réchauffé dans les capteurs thermiques passe dans l'échangeur en forme de serpentín placé dans la cuve de stockage, où il cède ses calories à l'eau sanitaire.



Figure 2.9 : Exemples d'échangeur de chaleur serpentín.

II- 3-4- Le système d'appoint :

Une installation de chauffage d'eau solaire est toujours accompagnée d'un chauffage d'appoint. Lorsque la température désirée de l'eau dans le ballon de stockage solaire n'est pas atteinte, un dispositif d'appoint pour fournir (assurer) de l'eau chaude supplémentaire doit être utilisé. La source d'énergie d'appoint peut être le gaz, l'électricité ou autre, selon le besoin et la disponibilité.

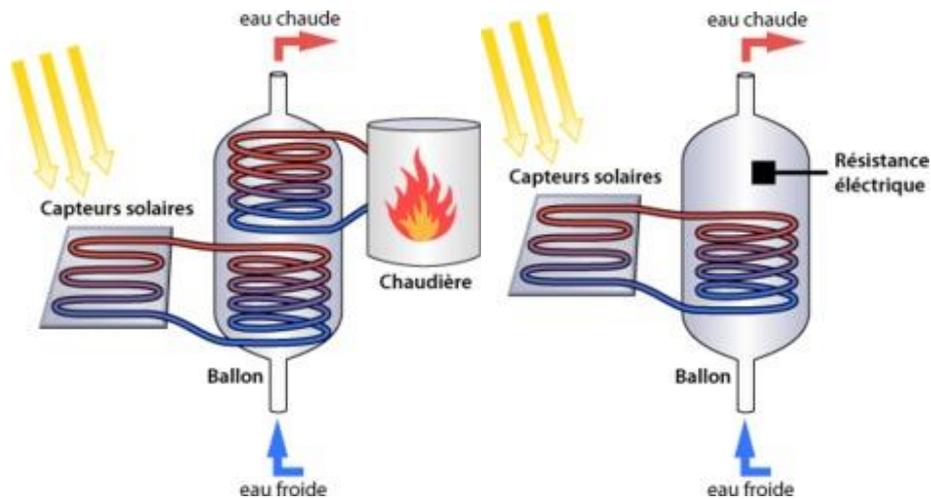


Figure 2.10 : système d'appoint.

II- 4- Principe de fonctionnement [19] :

Le fonctionnement d'un chauffe-eau solaire, Il s'agit d'un équipement capable de transformer l'énergie solaire en énergie thermique qui est composé de plusieurs étapes comme suivants :

II- 4-1- Capter l'énergie solaire :

Le capteur solaire comprend de plaque et des tubes métalliques teint en noirs que constitue l'absorbeur, le cœur du « système solaire » qui reçoit le rayonnement solaire et s'échauffe, et d'un coffre rigide et thermiquement isolée entourant l'absorbeur, sa partie supérieure vitrée (verre trempé) qui laisse pénétrer les rayons de soleil et retient la chaleur comme une petite serre. L'ensemble est placé dans une zone de l'habitation où le soleil est le plus présent, généralement au sud dans l'Algérie.

II- 4-2- Transporter la chaleur :

C'est le rôle du circuit primaire : étanche et calorifugé. Il contient de l'eau additionnée d'antigel (glycol). Ce fluide caloporteur s'échauffe en passant dans les tubes du capteur et se dirige vers un ballon de stockage.

II- 4-3- Restituer la chaleur :

Là grâce à un échangeur thermique (serpentin). Le fluide caloporteur qui circule dans ce dernier cède ses calories solaires à l'eau sanitaire. Le liquide primaire refroidi repart vers le capteur où il est chauffé à nouveau tant que l'ensoleillement reste efficace.

II- 4-4- Stocker l'eau chaude sanitaire :

Le stockage étant assuré dans le ballon .Ce dernier est une cuve très bien isolée selon les modèles. Il constitue la réserve d'eau sanitaire. L'eau chaude sanitaire est remplacée immédiatement par la même quantité d'eau froide du réseau. Réchauffé à son tour par le liquide du circuit primaire.

II- 4-5- Faire circuler le liquide caloporteur :

La circulation du liquide peut être naturelle ou forcée :

- Dans le premier cas, le liquide caloporteur circule grâce à sa différence de densité avec l'eau du ballon. Tant qu'il est plus chaud, donc moins dense qu'elle, il s'élève naturellement par thermo circulation. Dans ce cas de figure, le ballon de stockage doit impérativement être placé plus haut que les capteurs, Ce qui n'est pas toujours techniquement réalisable, ni forcément très esthétique. Sur ce principe sont conçus les chauffe-eau solaires « en thermosiphon ».
- Dans le second cas, une petite pompe électrique "le circulateur" met en mouvement le liquide caloporteur quand il est plus chaud que l'eau sanitaire du ballon. Son fonctionnement est commandé par un dispositif de régulation jouant sur les différences de températures : si la sonde du ballon est plus chaude que celle du capteur la régulation coupe le circulateur. Sinon, le circulateur est remis en route et le liquide primaire réchauffe l'eau sanitaire du ballon.

II- 4-6- Pallier l'insuffisance d'ensoleillement :

Le chauffe-eau solaire peut couvrir jusqu'à 100% de besoins en été et selon la région En revanche, partout en métropole on doit faire face à des périodes défavorables (hiver, demi-saison, longue période de mauvais temps). L'énergie solaire ne peut pas alors assurer la totalité de la production d'eau chaude. Aussi, le ballon est équipé d'un dispositif d'appoint qui prend le relais en cas de besoin et reconstitue le stock d'eau chaude. Il peut s'agir : d'une résistance (appoint électrique), souvent placée à mi-hauteur du ballon solaire d'un serpentin (appoint hydraulique) raccordé à une chaudière (gaz, fioul, bois) située en aval du ballon.

II- 5- Des cas d'installations de chauffe-eau solaire qui existent dans le monde :

II- 5-1- Cas A : un bungalow en Norfolk, Royaume-Uni [20]

- **Lieu** : R-U. Latitude 53°.
- **Climat** : Tempéré avec faible irradiation. Température ambiante moyenne 10 °C. Température moyenne à l'entrée 10 °C.
- **Capteur** : Capteur plan. Surface d'ouverture : 2,5 m² surface hors tout : 2,77 m², sur toit de tuiles, orienté sud, incliné à 40°.
- **Installation** : Chauffe-eau sous pression, indirect à glycol aqueux. Pompe de circulation à courant alternatif commandée par régulateur différentiel et thermostats limiteurs en cas de surchauffe du ballon de stockage.
- **Stockage solaire** : Interne. Ballon bivalent. Stockage solaire spécifique : 70 litres, stockage d'ECS : 100 litres.
- **Appoint** : Chaudière à gaz.
- **Nombre de personnes** : Deux adultes consommant chacun 40 litres par jour
- **Installateur** : Norfolk Solar

- **Capteur** : Solarfocus Sunny 28
- **Ballon solaire** : Ballon cylindrique Newark en cuivre de 170 litres avec serpentin solaire de 1,6 m² et 50 mm de mousse isolante.
- La fraction solaire annuelle escomptée (taux de couverture) est **de 50 %**.

II- 5-2- Cas B : un ranch en Australie [20]

- **Lieu** : Queensland, Australie. Latitude -24°.
- **Climat** : Tempéré/forêt tropicale avec irradiation moyenne. Température ambiante moyenne 23°C. Température moyenne à l'entrée 20 °C.
- **Capteur** : Absorbeur à tubes sous vide. Surface d'ouverture : 2,4 m², surface hors tout : 4,4 m² sur toit de tuiles. Orienté nord. Incliné à 40°.
- **Installation** : Chauffe-eau direct sous pression. Pompe de circulation à courant alternatif commandée par régulateur différentiel et thermostats limiteurs en cas de surchauffe du ballon de stockage.
- **Stockage solaire** : Externe. Bivalent. Solaire spécifique : 170 litres, ECS : 170 litres.
- **Appoint** : Résistance électrique immergée activée uniquement l'après-midi.
- **Nombre de personnes** : Deux adultes + deux enfants consommant chacun 50 litres par jour.
- **Installateur** : Apricus.
- **Capteur** : Apricus AP-30 à tubes sous vide.
- **Ballon solaire** : Aquamax 315 GLEM à cuve en acier vitrifié de 340 litres, élément médian, avec environ 50 mm d'isolant.
- La fraction solaire annuelle escomptée (taux de couverture) est **de 65 %**.

II- 5-3- Cas C : un bungalow en Maryland, USA [20]

- **Lieu** : USA. Latitude 40°.
- **Climat** : Tempéré avec irradiation modérée. Température ambiante moyenne 13 °C. Température moyenne à l'entrée 13 °C.
- **Capteur** : Capteur à tubes sous vide. Surface d'ouverture : 6 m², surface hors tout : 8,16 m² sur toit de bardeaux. Orienté sud-ouest. Incliné à 40°.
- **Installation** : Chauffe-eau sous pression, indirect, rempli de glycol aqueux. Pompe de circulation à courant alternatif commandée par régulateur différentiel avec boucles de rejet dans le sol en béton de la douche et de la salle de bains en hiver et de la piscine en été pour prévenir la surchauffe du ballon.
- **Stockage solaire** : Interne. Ballon d'eau chaude bivalent (solaire et appoint) de 411 litres avec double échangeur de chaleur.
- **Appoint** : Résistance électrique de 4,5 kW.
- **Nombre de personnes** : Deux adultes + deux enfants consommant chacun 76 litres par jour.
- **Installateur** : MRB Solutions, Gales ville, MD 20765, E-U

Chapitre II : Généralités sur le chauffe-eau solaire

- **Capteur** : Deux capteurs Sunda Solar à 16 tubes pour un total de 32 tubes.
- La fraction solaire annuelle escomptée (taux de couverture) est d'environ **70 %** avec plus de 500 kWh de chaleur supplémentaire pour le chauffage des locaux et de la piscine

II- 6-Puisage :

C'est action de prélever, d'extraire de l'eau ou toute autre matière dans une fosse, un puits ou un terrain spongieux (prendre une partie d'un liquide à l'aide d'un récipient ou du creuse de la main d'une réserve de ce liquide) [21].

II- 6-1- Profil de puisage [22] :

Le calcul d'une installation d'ECS en semi-instantané ou semi-accumulation sera fondé sur la reconstitution des puisages possibles dans les conditions réputées les plus rigoureuses. Établir le profil de puisage consiste à déterminer pour différentes journées caractéristiques de l'année, les besoins en eau chaude heure par heure.

Remarque : Si le découpage heure par heure du profil de puisage n'est pas représentatif de la situation réelle, par exemple si on assiste à des puisages courts et discontinus ou à de courtes pointes de puisage, un autre découpage doit être considéré, de 10 en 10 minutes, par exemple.

Le tableau suivant représente les besoins en eau chaude sanitaire pour différents édifices :

Tableau 1.1 : Besoin d'eau chaude pour différents habitat [23]

Habitat	30 l/j/pers
Équipements sportifs	20 l/j/pers
Restaurations et cantines	5 l/repas
bureau	4l/j/pers
Maisons de retraite	35 l/j/pers
Hôtellerie	L'estimation des besoins se fait à partir de la fréquentation et non pas à partir du nombre de chambres. Un ratio de 35 litres par nuitée et par personne est recommandé.

Chapitre III

Bilan thermique du chauffe-eau solaire

III- 1- Introduction :

La modélisation des phénomènes de transfert dans un chauffe-eau solaire à circulation naturelle reste un phénomène difficile et complexe pour simplifier le problème. Le chauffe-eau est divisé en deux sous-systèmes à savoir le sous-système de captage et le sous-système de stockage et nous avons écrit le bilan de chaque sous système.

III- 2- Bilan thermique du capteur plan [24] :

Le rôle d'un capteur solaire thermique est de transformer les rayonnements solaires qu'il reçoit en énergie calorifique utilisable, le plus souvent par l'intermédiaire d'un fluide caloporteur (eau, air, glycol,.....).

La paroi absorbante s'échauffe sous l'effet de l'absorption du rayonnement solaire incident. Le fluide qui circule sous cette paroi récupère par convection une partie de cette énergie absorbée et subit une élévation de température $T_{fs} - T_{fe}$ à la traversée du capteur.

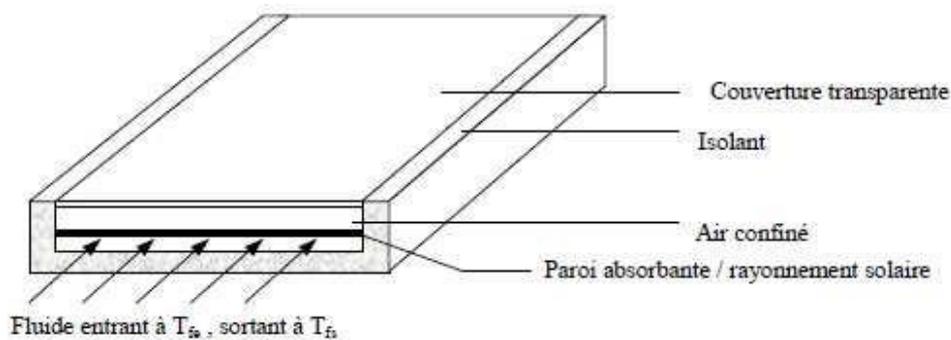


Figure 3.1 : Schéma de principe d'un capteur solaire plan

III- 2-1- bilan thermique global de la paroi absorbante [24] :

Le bilan thermique de la paroi absorbante s'écrit :

$$\phi_{sa} = \phi_{p \rightarrow} + \phi_u + \phi_{st} \tag{III.1}$$

Où :

- ϕ_{sa} : Flux solaire absorbé.
- $\phi_{p \rightarrow}$: Flux perdu par la paroi absorbante.
- ϕ_u : Flux utile transmis au fluide caloporteur.
- ϕ_{st} : Flux stocké dans le capteur qui s'écrit :

$$\phi_{st} = M_e c_{eau} \frac{\partial T}{\partial t} \tag{III.2}$$

Où :

Chapitre III : Bilan thermique du chauffe-eau solaire

- M_e : Masse en eau du capteur définie par : $\sum m_i c_i = M_e c_{eau}$ (i représente les différents éléments constitutifs du capteur).
- T : Température moyenne du capteur.
- t : Temps.

La puissance absorbée par le capteur s'écrit :

$$\phi_{sa} = \tau_{cs} \alpha_{ps} G_{(i,y)}^* S \quad (\text{III.3})$$

Où :

- ϕ_{sa} : Flux solaire absorbé par la surface exposée (W).
- $G_{(i,y)}^*$: Eclairement (densité de flux) solaire incident sur le capteur (W.m^{-2}).
- α_{ps} : Coefficient d'absorption de la paroi absorbante par rapport au rayonnement solaire.
- τ_{cs} : Coefficient de transmission de la couverture transparent par rapport au rayonnement solaire.
- S : Surface de la paroi absorbante.

Dans le cas où le fluide caloporteur ne subit pas de changement d'état le flux utile s'écrit :

$$\phi_u = q_{cf}(T_{fs} - T_{fe}) \quad (\text{III.4})$$

Où :

- q_{cf} : Débit calorifique du fluide caloporteur (W.K^{-1}).
- T_{fs} : Température de fluide caloporteur à la sortie de l'absorbeur.
- T_{fe} : Température de fluide caloporteur à l'entrée de l'absorbeur.

Les déperditions thermiques du capteur sont mises sous la forme :

$$\phi_{p \rightarrow} = U_T(T_{pm} - T_a)S \quad (\text{III.5})$$

Où :

- U_T : Coefficient global de pertes du capteur.
- T_{pm} : Température moyenne de la paroi absorbante.
- T_a : Température de l'air extérieur.

Dans le cas d'un capteur plan, la température moyenne T_{pm} peut en première approximation être calculée par :

$$T_{pm} = \frac{3T_{fs} - T_{fe}}{3} + \Delta T \quad (\text{III.6})$$

III- 2-2- Rendement d'un capteur solaire :

Il existe deux étapes à suivre afin de parvenir à l'équation générale du rendement d'un capteur plan. [25]

III- 2-2-1- Influence de la température de l'absorbeur :

Pour étudier l'influence de la température de l'absorbeur, notée T_p , considérons un capteur plan à eau possédant une vitre. L'absorbeur est constitué d'une plaque plane sous laquelle sont soudés des tubes à section circulaire. Les paramètres sont les suivantes :

- Dimensions : longueur L, largeur l, distance plaque-vitre b, épaisseur de l'isolant e_i .

Les hypothèses pour calculer le rendement d'un capteur sont les suivantes :

- Le régime est supposé permanent ;
- La vitre et la surface absorbante sont supposées isothermes ;
- On suppose un capteur infini, les grandeurs étant déterminées par m^2 de surface absorbante.

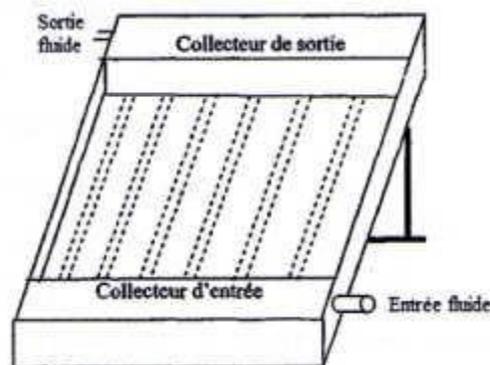


Figure 3.2 : Schéma du capteur étudié

La figure 3.3 indique les paramètres utilisés pour exprimer les différentes températures.

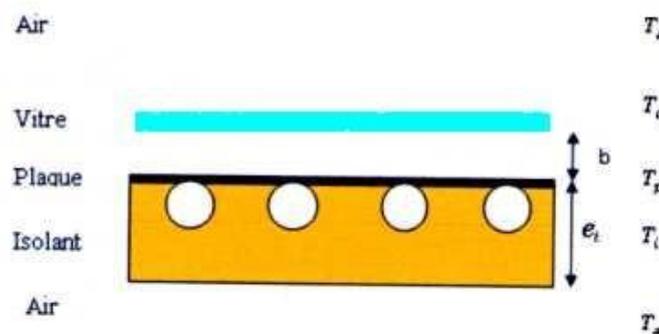


Figure 3.3 : Les températures des différents éléments intervenant dans la détermination du rendement d'un capteur plan

En régime permanent :

$$\phi_{st} = 0$$

On peut écrire l'expression de la puissance solaire absorbée par le capteur :

$$\phi_{sa} = G \tau_c \alpha_p F' \quad (III.7)$$

Avec :

- α_p : Coefficient d'absorption solaire de la plaque absorbante.
- τ_c : Coefficient de transmission solaire de la couverture transparente.
- G : Eclairement solaire en W/m^2 .
- F' : Facteur de rendement du capteur (entre 0,92 et 0,97).

Le rendement optique (rendement à température ambiante) du capteur η_0 :

$$\eta_0 = \tau_c \alpha_p F' \quad (III.8)$$

Le flux thermique échangé avec l'environnement à T_a s'écrit :

$$\phi_{p \rightarrow} = U_T (T_p - T_a) \quad (III.9)$$

Avec :

- T_p : Température de la plaque.

Le rendement instantané :

C'est le rapport entre l'énergie extraite en sortie du capteur, et l'énergie à l'entrée (ensoleillement). Il est donné par :

$$\eta = \frac{\phi_u}{G} = \frac{\phi_{sa} - \phi_{p \rightarrow}}{G} = (\tau_c \alpha_p F') - \frac{U_T (T_p - T_a)}{G}$$
$$\eta = \eta_0 - \frac{U_T (T_p - T_a)}{G} \quad (III.10)$$

III- 2-2-2- Influence de la température du fluide caloporteur :

On cherche à déterminer le rendement du capteur en fonction de la température T_{fe} du fluide à l'entrée du capteur. Dans le paragraphe précédent on a considéré que la surface absorbante isotherme à T_p . En réalité la plaque est soumise à un champ de température non uniforme, constant en régime permanent. [26]

Le capteur plan étudié de longueur L et de largeur l est représenté par la figure 3.4.

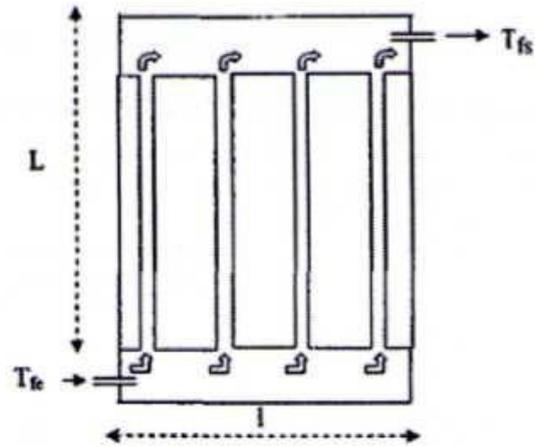


Figure 3.4 : Schéma simplificateur d'un capteur plan étudié

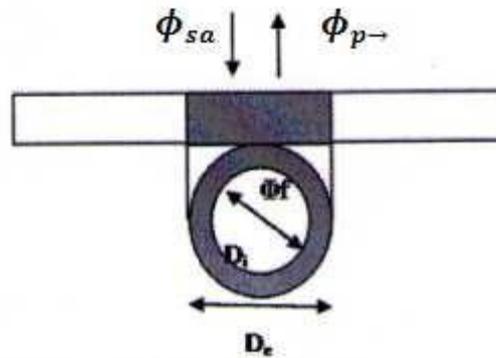


Figure 3.5 : Schéma servant au calcul du bilan thermique

En régime permanent, on a :

$$\phi_{sa} = \phi_{p\rightarrow} + \phi_u + \phi_{st} \quad (\text{III.11})$$

$$\phi_{st} = 0$$

$$\phi_{sa} = \phi_{p\rightarrow} + \phi_u \quad (\text{III.12})$$

Le flux thermique perdu avec l'environnement s'écrit :

$$\phi_{p\rightarrow} = U_T(T_p - T_a) \quad (\text{III.13})$$

La puissance thermique ϕ_f absorbée par le fluide caloporteur par mètre de longueur de tuyauterie.

Chapitre III : Bilan thermique du chauffe-eau solaire

$$\phi_f = [\phi_{sa} - (T_f - T_a)] p F \quad (III.14)$$

$$p = D_e 2w$$

Avec :

- w : Espacement entre deux tubes en (mm) ;
- T_f : Température du fluide en (K) ;
- p : Pas entre tuyauteries (mm) ;
- D_e : Diamètre extérieur de la conduite en (mm) ;
- F : Rendement d'irrigation. il correspond au rapport de la résistance thermique plaque absorbante-air ambiant sur la résistance thermique fluide-air ambiant.

$$F = \frac{1}{\frac{p}{D_e 2w \eta_w} + \frac{p U_T}{x h_c}} \quad (III.15)$$

Avec :

$$x = \pi D_i \quad (III.16)$$

$$\eta_w = \frac{th(m w)}{m w} \quad (III.17)$$

$$m^2 = \frac{U_T}{\lambda_p \delta} \quad (III.18)$$

$$\lambda_c = \frac{N_u \lambda_f}{D_h} \quad (III.19)$$

Où :

- η_w : Efficacité de l'ailette ;
- x : Le périmètre mouillé de la conduite (mm) ;
- D_i : Le diamètre intérieur de la conduite (mm) ;
- th : Représente la fonction tangente hyperbolique ;
- h_c : Coefficient d'échange par convection entre la paroi et le fluide ($W/m^2 K$) ;
- λ_p : Conductivité thermique du matériau constituant la plaque absorbante ($W/m K$) ;
- λ_f : Conductivité thermique du fluide ($W/m K$) ;
- δ : Epaisseur de la surface absorbante ;
- N_u : Nombre de Nusselt ;
- D_h : Diamètre hydraulique (mm).

La relation de Nusselt est donnée par :

$$N_u = 1.75 \left(\frac{\mu_f}{\mu_p} \right)^{0.14} \left[\frac{R_e P_r D_i}{L_T} + \left(\frac{G_r^{1/3} R_e P_r D_i}{L_T} \right)^{4/3} \right]^{1/2} \quad (III.20)$$

Avec :

- L_T : Longueur des tubes (mm) ;
- μ_f : La viscosité à la température moyenne du fluide (pa.s) ;
- μ_p : La viscosité à la température moyenne des parois (pa.s) ;

Où :

$$G_r = f_a^2 \frac{g}{T_m} \frac{(T_p - T_c) b^3}{\mu_a^2} \quad (III.21)$$

$$T_m = \frac{T_p + T_c}{2} \quad (III.22)$$

$$R_e = \frac{f_a V D_i}{\mu_a} \quad (III.23)$$

$$P_r = \frac{\mu C_p}{\lambda_f} \quad (III.24)$$

Avec :

- R_e : Nombre de Reynolds ;
- G_r : Nombre de Grashof ;
- P_r : Nombre de Prandtl ;
- f_a : Masse volumique (Kg/m³) ;
- g : Accélération de pesanteur (m/s²) ;
- T_m : Température moyenne de l'air confiné entre l'absorbeur et la vitre ;
- T_c : Température de la vitre (Kelvin) ;
- b : Distance absorbeur- vitre (mm).

La relation de Nusselt pour un régime laminaire ($R_e < 2100$), en convection forcée est proposée par SIEDER et TATE :

$$N_u = 0.023 \left(\frac{R_e P_r D_i}{L} \right)^{1/3} \left(\frac{\mu_f}{\mu_p} \right)^{0.14} \quad (III.25)$$

Pour un régime turbulent ($R_e > 10000$), le nombre de Nusselt est donné par :

$$N_u = 0.023 R_e^{0.8} P_r^{1/3} \left(\frac{\mu_a}{\mu_p} \right)^{0.14} \quad (III.26)$$

La puissance fournie au fluide par mètre carré de capteur s'écrit :

$$\dot{\phi}_u = \dot{M} C_p (T_{fs} - T_{fe}) \quad (III.27)$$

Avec :

$$\dot{M} = \frac{\dot{m}}{p L} ; \quad \dot{m} = \frac{f \dot{V}}{n_t} ; \quad n_t = \frac{l}{p}$$

- \dot{M} : Débit massique par unité de surface de capteur (Kg/s.m²) ;
- L : Longueur du capteur (mm) ;
- \dot{m} : Débit massique par tuyauterie (Kg/s) ;
- f : Masse volumique (Kg/m³) ;
- \dot{V} : Débit volumique du fluide (m²/s) ;
- n_t : Nombre de tuyauteries ;
- l : Largeur de la surface absorbante (mm) ;
- C_p : Capacité calorifique du fluide (KJ / Kg . K) ;
- T_{fs} et T_{fe} sont respectivement température d'entrée et de sortie du fluide caloporteur (Kelvin).

Posons :

$$F_t = \frac{C_p \dot{M}}{K} \left[1 - \exp \left(- \frac{F U_T}{C_p \dot{M}} \right) \right] \quad (III.28)$$

Avec :

- F_t : Facteur de transfert thermique ;

Ce facteur représente le rapport du flux thermique réel reçu par le fluide sur celui qui serait récupéré si la surface absorbante était isotherme T_{fe} .

On a donc :

$$\dot{\phi}_u = F_t [\phi_{sa} - U_T (T_{fe} - T_a)] \quad (III.29)$$

D'où le rendement instantané :

$$\eta = F_t \left[\eta_0 - \frac{U_T (T_{fe} - T_a)}{G} \right] \quad (III.30)$$

III- 2-3- Calcul du coefficient de pertes thermiques globales U_t [27]

Les pertes thermiques sont dues à la différence de température entre l'absorbeur et le milieu ambiant. Elles se manifestent selon les trois modes de transfert de chaleur. Elles se divisent en trois catégories : les pertes vers l'avant, les pertes vers l'arrière et les pertes latérales. On définit :

- R_1 : Résistance thermique entre le milieu ambiant et la vitre.
- R_2 : Résistance thermique entre la vitre et l'absorbeur.
- R_3 : Résistance thermique entre l'absorbeur et l'isolant.
- R_4 : Résistance thermique entre l'isolant et le milieu ambiant.
- R_{av} : Résistance thermique vers l'avant du capteur ;
- R_{ar} : Résistance thermique vers l'arrière du capteur ;

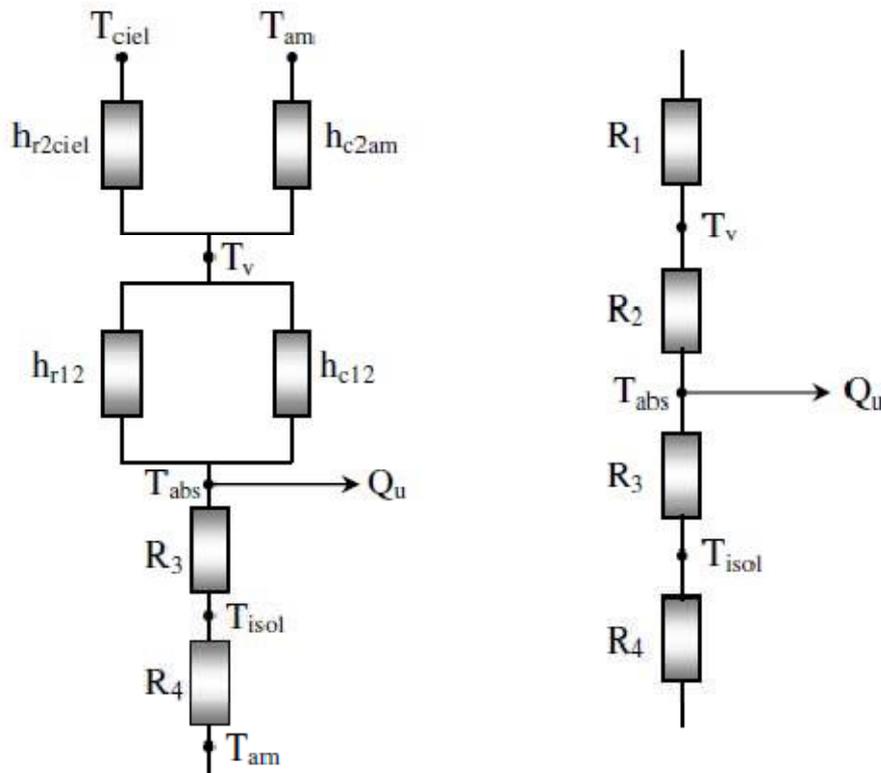


Figure 3.6 : Circuit électrique équivalent relative à un capteur solaire plan

$$R_1 = \frac{1}{h_{c1} + h_{r1}} \quad ; \quad R_2 = \frac{1}{h_{c2} + h_{r2}}$$

$$h_{r1} = \frac{\varepsilon_v \sigma (T_v^4 - T_{\infty}^4)}{(T_v - T_{am})} \quad ; \quad h_{r2} = \frac{\sigma (T_{abs}^2 - T_v^2)(T_{abs} + T_v)}{\frac{1}{\varepsilon_{abs}} + \frac{1}{\varepsilon_v} - 1}$$

$$h_{c1} = 5.7 + 3.8 w \quad ; \quad h_{c2} = \frac{Nu \lambda_a}{b}$$

Dans le cadre de la géométrie étudiée, il existe une corrélation empirique reliant G_r au nombre de Nusselt où l'angle β et l'inclinaison du capteur, sont exprimés en degrés.

$$Nu = [0.06 + 3 * 10^{-4}(90 - S_{in})]G_r^{1/3}$$

$$R_{av} = R_1 + R_2 \quad ; \quad R_{ar} = R_3 + R_4$$

$$R_3 = \frac{e_i}{\lambda_i}$$

La similitude électronique permet d'écrire :

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_{av}} + \frac{1}{R_{ar}} \quad (III.31)$$

Et en utilisant les conductances thermiques :

$$K_{av} = \frac{1}{R_1 + R_2} \quad ; \quad K_{ar} = \frac{1}{R_3 + R_4} \simeq \frac{1}{R_3}$$

$$K = K_{av} + K_{ar} \quad (III.32)$$

Avec :

- h_{c1} et h_{r1} : les coefficients d'échange thermique relatifs respectivement à la convection et au rayonnement entre la vitre et l'extérieur ;
- h_{c2} et h_{r2} : les coefficients d'échange thermique relatifs respectivement à la convection et au rayonnement entre la surface absorbante et la vitre ;
- ε_{abs} et ε_v : coefficients d'émission infrarouge respectivement de l'absorbeur et de la vitre
 $\varepsilon_{abs} = 0,95$ et $\varepsilon_v = 0,83$
- λ_i : Conductivité thermique de l'isolant ;
- λ_a : Conductivité thermique de l'air ;
- σ : Constante de Stefan-Boltzmann.

Duffie et Bekman (1980) ont donné une relation empirique due à Kelvin pour le calcul de ϕ_{av} avec une erreur inférieure à $\pm 0,3 \text{ W/m}^2$. [29]

$$\phi_{av} = \frac{T_{abs} - T_{am}}{\left(\frac{c}{T_{abs}}\right)\left(\frac{T_{abs} - T_{am}}{N + f}\right)^{1/3} + \frac{1}{h_{c1}}} + \frac{\sigma(T_{abs}^4 - T_{am}^4)}{\frac{1}{\varepsilon_{abs} + 0.05N(1 - \varepsilon_{abs})} + \frac{\varepsilon_v}{2N + f - 1} - N} \quad (III.33)$$

Tels que :

- $f = (1 - 0.04h_{c1} + 0.0005h_{c1}^2)(1 + 0.091N)$

Chapitre III : Bilan thermique du chauffe-eau solaire

- $C = 365,9 (1 - 0,00883 S + 0,0001298 S^2)$
- $\sigma = 5.68 * 10^{-8} \text{W/ m}^2 \text{K}^4$ (constante de Boltzmann)
 $= 4 * 10^{-8} \text{Kcal / h m}^2 \text{K}^4$
- S_{in} : Inclinaison des capteurs en degrés (0° horizontale) ;
- N : Nombre de couvertures ;
- h_{c1} : Coefficient d'échange entre couverture et l'air extérieur ;
- W : vitesse du vent (m/s) ;
- T_{abs} : Température moyenne de l'absorbeur (K) ;
- T_{am} : Température moyenne de l'air ambiant (K).

La formule s'applique dans les conditions suivantes :

$$320 \text{ K} \leq T_{abs} \leq 420 \text{ K} \qquad 47 \text{ }^\circ\text{C} \leq T_{abs} \leq 147 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$260 \text{ K} \leq T_{am} \leq 310 \text{ K} \qquad -13^\circ\text{C} \leq T_{am} \leq 37 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$0 \leq W \leq 10 \text{ m/s} \ ; \ 1 \leq N \leq 3 \ ; \ 0^\circ \leq S_{in} \leq 90^\circ$$

Influence du vent sur la plaque :

La vitesse du vent apparaissant dans h agit sur le coefficient K et par conséquent sur la valeur des pertes. C'est pour cette raison que la connaissance des données météorologiques sur le vent est importante. [28]

a) Coefficient de pertes thermiques vers l'avant du capteur [27]

Le coefficient de pertes thermiques global vers l'avant du capteur sera donné par la relation suivante :

$$U_{av} = \frac{1}{R_1 + R_2} = \frac{1}{\frac{1}{h_{c1} + h_{r1}} + \frac{1}{h_{c2} + h_{r2}}} \qquad \text{(III.34)}$$

b) Coefficient de pertes thermiques vers l'arrière du capteur [27]

Ce coefficient est peu important que celui d'avant, vu le capteur est très bien isolé à l'arrière. L'expression évaluant ce coefficient est donné par :

$$U_{ar} = \frac{\lambda_i}{e_i} = \frac{1}{R_3} \qquad \text{(III.35)}$$

- λ_i : Coefficient de conductivité thermique de l'isolant (W/m.K) ;
- e_i : Epaisseur de l'isolant (m).

c) Coefficient de pertes thermiques latérales [27]

La valeur de ce coefficient est inférieure à celle du coefficient de pertes arrière, vu que la surface latérale du capteur est peu importante.

$$U_{lat} = \frac{\lambda_i}{e_i} * \frac{A_{lat}}{A_c} \quad (III.36)$$

- A_{lat} : Surface latérale du capteur (m²).
- A_c : Surface du capteur (m²).

Le coefficient de pertes thermiques global vers l'extérieur est la somme des trois coefficients.

$$U_T = U_{av} + U_{ar} + U_{lat} \quad (III.37)$$

III- 3- bilan thermique de la cuve de stockage [27] :

Pour calculer la température de l'eau dans la cuve de stockage, le modèle brassé est adopté. Ce dernier consiste à supposer que 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. La puissance récupérée par le fluide caloporteur est définie comme étant la différence entre l'énergie solaire incidente et les pertes thermiques.

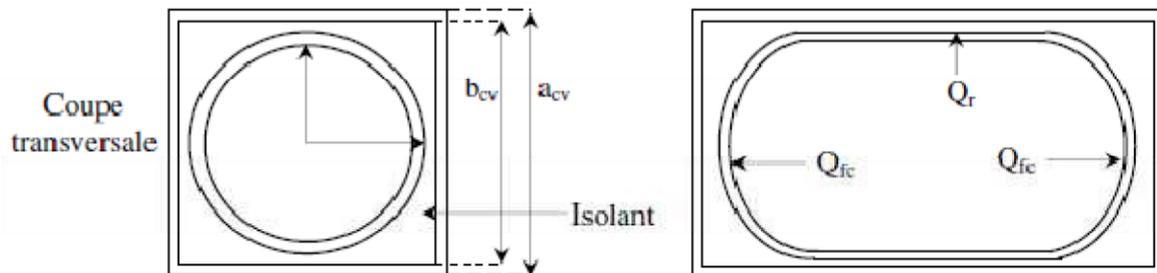


Figure 3.7 : Schéma de la cuve de stockage

$$\phi_u = \dot{m} C_p (T_{fs} - T_{fe}) \quad (III.38)$$

$$\phi_u = A_c F_r [(\tau\alpha)_{eff} G_t - U_L (T_{fe} - T_a)] \quad (III.39)$$

- F_r : Facteur de conductance du capteur défini par :

$$F_r = \frac{C_p \dot{M}}{U_L} \left[1 - \exp\left(-\frac{U_L F_c}{C_p \dot{M}}\right) \right] \quad (III.40)$$

- \dot{m} : Débit massique (Kg/s) ;
- \dot{M} : Débit surfacique (kg/s m²).

Chapitre III : Bilan thermique du chauffe-eau solaire

$$F_r = \frac{\text{Quantité de chaleur réellement extraite}}{\text{Quantité de chaleur recueillie si l'absorbeur est à la température d'entrée du fluide}} \quad (\text{III.41})$$

$$F_c = \frac{1/U_L}{(d+D) \left[\frac{1}{U_L(d\eta_{ail}+D)} + \frac{1}{h_{c13} p_m} \right]} \quad (\text{III.42})$$

$$F_c = \frac{\text{Quantité de chaleur réellement extraite}}{\text{Quantité de chaleur recueillie avec un absorbeur isotherme à la température d'entrée du fluide}} \quad (\text{III.43})$$

- D : Diamètre de tube (m).
- p_m : Périmètre mouillée de la section de passage (m²).

L'efficacité de l'ailette est donnée par :

$$\eta_{ail} = \frac{th\left(\frac{d}{2}\sqrt{\frac{U_L}{\lambda_{abs} e_p}}\right)}{\frac{d}{2}\sqrt{\frac{U_L}{\lambda_{abs} e_p}}} \quad (\text{III.44})$$

La température moyenne de la plaque est donnée par :

$$T_{pm} = T_{fe} + \frac{\phi_u(1-F_r)}{A_c U_L F_r} \quad (\text{III.45})$$

La température moyenne du fluide dans le capteur est calculée par l'équation de Klein :

$$T_{fm} = T_{fe} + \frac{\phi_u}{A_c U_L F_r} \left(1 - \frac{F_r}{F_c}\right) \quad (\text{III.46})$$

$$\phi_t = K(T_s - T_{am}) = \frac{1}{R_{th}} (T_s - T_{am}) \quad (\text{III.47})$$

$$K = 2 \pi r_1 L_{cv} \sum \frac{1}{R_{thr}} + 2 \pi r_1^2 \sum \frac{1}{R_{thc}} \quad (\text{III.48})$$

- T_s et T_{am} : sont respectivement la température du stockage et la température ambiante (K).
- R_{th} : Résistance thermique de la cuve de stockage entre le milieu ambiant et le fluide stocké.
- R_{thr} : Résistances thermiques radiales.
- R_{thc} : Résistances thermiques sur les côtés.

Pour déterminer la résistance thermique du stockage de la cuve, on utilise le schéma analogique équivalent donné ci-dessous.

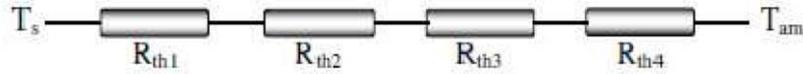


Figure 3.8 : Circuit électrique équivalent relative à un ballon de stockage

$$R_{th1} = \frac{1}{2 \pi r_1 L_{cv} h_{cv}} \quad (III.49)$$

- L_{cv} : Longueur de la cuve (m).
- r_1 : Rayon intérieur de la cuve (m).
- h_{cv} : Coefficient d'échange de la chaleur par convection, il est calculé par la relation de Nusselt dans le cas de la convection naturelle par :

$$N_u = 0.52(G_r * P_r)^{0.25} \quad (III.50)$$

$$h_{cv} = N_u \frac{\lambda}{D'} \quad (III.51)$$

Pour un G_r compris entre 10^3 et 10^9 et un P_r supérieur à 0,6.

- D' : Diamètre de cylindre intérieur (m).

$$R_{th2} = \frac{1}{2 \pi L_{cv} \lambda_{ac}} \ln \left(\frac{r_2}{r_1} \right) \quad (III.52)$$

- r_2 : Rayon extérieur de la virole (m).
- λ_{ac} : Conductivité thermique de la virole ($W m^{-1} K^{-1}$).
- R_{th3} : Résistance thermique de l'isolant.

$$R_{th3} = \frac{1}{2 \pi L_{cv} \lambda_{iso}} \ln \left(\frac{0.54 b_{cv}}{r_2} \right) \quad (III.53)$$

- λ_{iso} : Conductivité thermique de l'isolant ($W m^{-1} K^{-1}$).
- R_{th4} : Résistance thermique entre l'isolant et la tôle.

$$R_{th4} = \frac{0.785}{2 \pi L_{cv} \lambda_t} \ln \left(\frac{a_{cv}}{b_{cv}} \right) \quad (III.54)$$

- λ_t : Conductivité thermique de la tôle. D'où :

$$K = 2 \pi r_1 L_{cv} \left[\frac{1}{h_{cv}} + \frac{r_1}{\lambda_{ac}} \ln \left(\frac{r_2}{r_1} \right) + \frac{r_1}{\lambda_{iso}} \ln \left(\frac{0.54 b_{cv}}{r_2} \right) + \frac{0.785 r_1}{\lambda_t} \ln \left(\frac{a_{cv}}{b_{cv}} \right) \right]^{-1} + 2 \pi r_1^2 \left[\frac{1}{h_{cv}} + \frac{e_{ac}}{\lambda_{ac}} + \frac{e_{iso}}{\lambda_{iso}} + \frac{e_t}{\lambda_t} \right]^{-1} \quad (III.55)$$

- e_{ac} , e_t et e_{iso} : sont respectivement les épaisseurs de l'acier, du tube et de l'isolant de la cuve.

En égalant la variation de l'énergie stockée dans la cuve à l'énergie captée par le collecteur moins l'énergie perdue vers l'espace environnement et l'énergie puisée, on peut écrire le bilan thermique de la cuve de stockage sous la forme suivante :

$$(C_p \dot{M}) \frac{dT_s}{dt} = A_c F_r [(\tau a)_{eff} G - U_L(T_s - T_{am})] - K(T_s - T_{am}) - \dot{m}(T_s - T_{lr}) \quad (III.56)$$

- T_{lr} : Température de soutirage (K).

III- 4- Etude de la circulation dans le système [29] :

La circulation de l'eau dans le chauffe-eau solaire se fait naturellement (principe de la thermo-circulation), le capteur solaire chauffe l'eau circulant dans l'absorbeur donnant ainsi naissance à une force permettant le mouvement ascensionnel du fluide, mais ceci ne peut avoir que lorsque cette pression est supérieure à la pression totale due à différentes pertes de charges dans le circuit.

A l'équilibre, la force motrice générée par le fluide est égale à la somme des pertes de charge dans le circuit.

- H_p : La force totale due aux pertes de charge dans le système.
- H_m : La force motrice de l'eau dans le système.

III- 4-1- Calcul des pertes de charge totales

Les pertes de charge dans le circuit sont égales aux pertes de charges singulières plus les pertes de charges linéaires ; les premières sont dues aux accidents de parcours (coudes, raccordement de tubes, etc...), les secondes sont dues aux frottements de l'eau sur la paroi interne de la tuyauterie.

L'utilisation de la tuyauterie lisse permet d'atténuer ces frottements.

$$H_p = H_p(\text{lin}) + H_p(\text{sing}) \quad (III.57)$$

Les pertes de charges s'expriment par relation de Dacy-Werboch.

$$H_p = \underbrace{\sum_{i=1}^n \lambda f_n v^2 \frac{L_i}{2gD}}_{\text{Pertes de charge Linéaires.}} + \underbrace{\sum_{i=1}^n \xi_i \frac{v^2}{2gD}}_{\text{Pertes de charge Singulières.}} \quad (III.58)$$

- λ : est le coefficient de pertes de charge linéaire. Pour un écoulement laminaire $\lambda = \frac{64}{Re}$

On a :

$$\dot{m} = v^2 f_n \pi \frac{D^2}{4} \quad (III.59)$$

○ v : est la vitesse d'écoulement de l'eau dans les tubes.

L'expression (III.69) devient :

$$H_p = \frac{1}{f_n} \left[\frac{128}{\pi g D^2} \sum L_i \right] \dot{m}^2 + \left[8 \frac{\sum_{i=1}^n \xi_i}{f_n g D^2} \right] \dot{m}^3 \quad (III.60)$$

Le capteur solaire plan est l'élément clé en énergétique solaire. Cependant un bon dimensionnement de celui-ci et un bon choix de l'isolant de la cuve de stockage, nous permettent d'avoir un rendement idéal, afin de satisfaire les besoins en eau chaude sanitaire pour une maison individuelle.

III- 6- Le cas de notre étude [30] :

L'installation est d'un chauffe-eau solaire individuel thermosiphon KSH modèles 302 S.H, équipé de deux capteurs solaires plans et d'un réservoir de 300 litres, monté sur terrasse pour alimenter un bureau fréquenté par trois personnes avec un puisage moyen de 6 à 10l/par personne par jour.

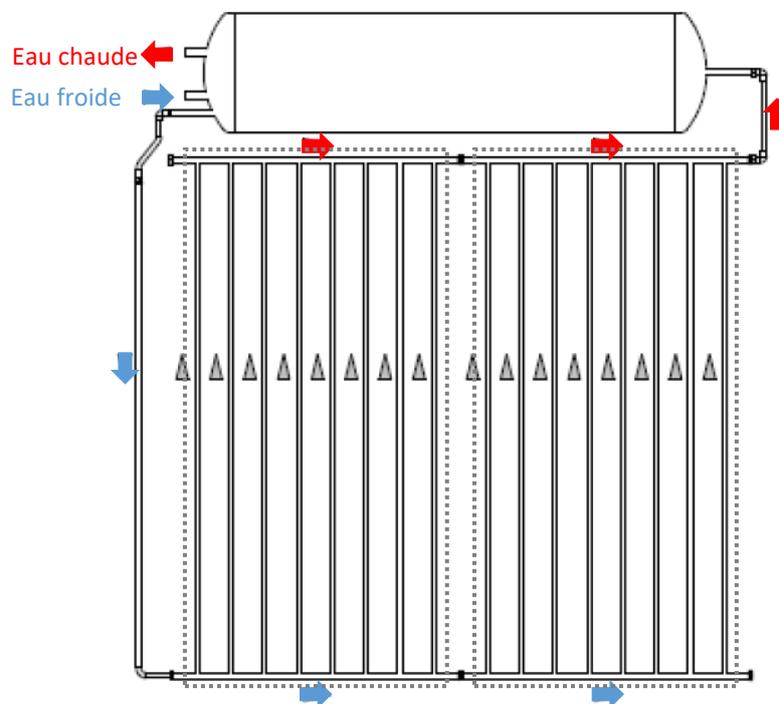


Figure 3.9 : Schéma hydraulique du chauffe-eau solaire KSH 302.

II- 6-1- Le capteur solaire plan :

- Type de capteur : CC8/11.SU.
- Superficie d'entrée : 1,97 m².
- Superficie d'absorbeur : 2,00 m².
- Superficie hors-tout : 2,10 m².
- Dimensions hors tout l x h x ép. (mm) : 2002 x 1050 x 75.
- Pression de service maximale : 7 bars.
- Poids à vide (hors support) : 36 kg.
- Contenance en eau de l'absorbeur : 1,89 litre.

II- 6-2- Le stockage solaire :

Le chauffe-eau solaires KSH modèles 302 S.H est constitué de cuve de contenance 300L sans échangeur avec les caractéristiques suivantes :

- Dimensions hors-tout (mm) : 2180 x 560.
- Diamètre intérieur de la cuve : 450 mm.
- Volume nominal : 282 litres.
- Poids à vide : 70 kg pour inox et 135 kg pour Supraroc.
- Pression de maximale de service : 6 bars.
- Pression d'essai : 12 bars.
- Constante de refroidissement Cr : 0,169 Wh/l.K.jour.

LES PIQUAGES BALLON SONT EN 3/4" M (20x27)

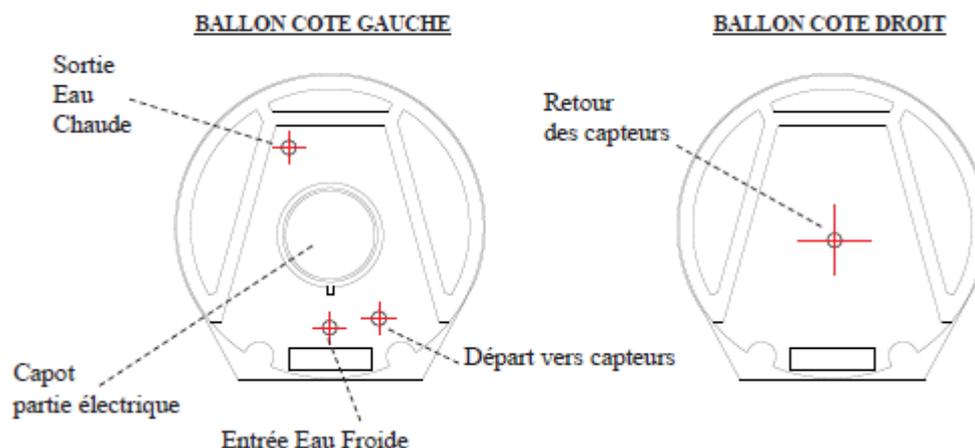


Figure 3.10 : Représentation des côtés du ballon solaire.

III- 6-3- Caractéristiques générales du chauffe-eau solaire :

- Nombre de capteurs : 2.
- Dimensions hors tout (m) : 2,550 x 2,180.
- Superficie d'entrée des capteurs : 4 m².

Chapitre III : Bilan thermique du chauffe-eau solaire

- Capacité nominale du réservoir : 282 litres.
- Poids à vide réservoir(s) : 70 kg pour inox et 135 kg pour Supraroc.
- Poids à vide capteur(s) : 72 kg.
- Poids en charge total (hors canalisations et supports) : 430 kg pour inox et 495 kg pour Supraroc.
- Pression maximale de service : 6 bars.
- Type d'appoint : Electrique.

III- 6-4- Caractéristiques thermiques du chauffe-eau solaire :

- Capacité thermique du stockage C_s : 1,341 MJ.K⁻¹.
- Coefficient de déperdition du stockage U_s : 1,905 W.K⁻¹.
- Surface équivalente de captage A_{c^*} : 2,507 m².
- Coefficient de déperdition thermique du capteur U_{c^*} : 8,359 W.m⁻².K⁻¹.

Chapitre **IV**

Résultats et discussion

IV- 1- Introduction :

Des simulations ont été faites sur le logiciel “Transol” d’une installation d’un chauffe-eau solaire individuel thermosiphon “KSH modèles 302S”. Cette installation est équipée de deux capteurs solaires plans de type : CC8/11.SU et d’un réservoir de 300 litres, et montée pour alimenter un espace à usage de bureau au CDER à Bouzareah. Le bureau est occupé par 3 personnes qui consomment entre 6l et 10l/jour/personne.

IV- 2- Description du logiciel transol[31]

Transol est un outil prédictif des performances thermiques des installations d’eau chaude et de climatisation solaires dans l’habitat individuel, collectif et tertiaire. Principalement destiné aux bureaux d’études et aux installateurs thermiques, ce logiciel est fortement plébiscité par les universités et centres de formation pour une utilisation à des fins pédagogiques. Cet outil développé par AIGUASOL et le centre de recherche français CSTB (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment) et démarré en 2004.

- Choix du type d’installation (24 schémas type).

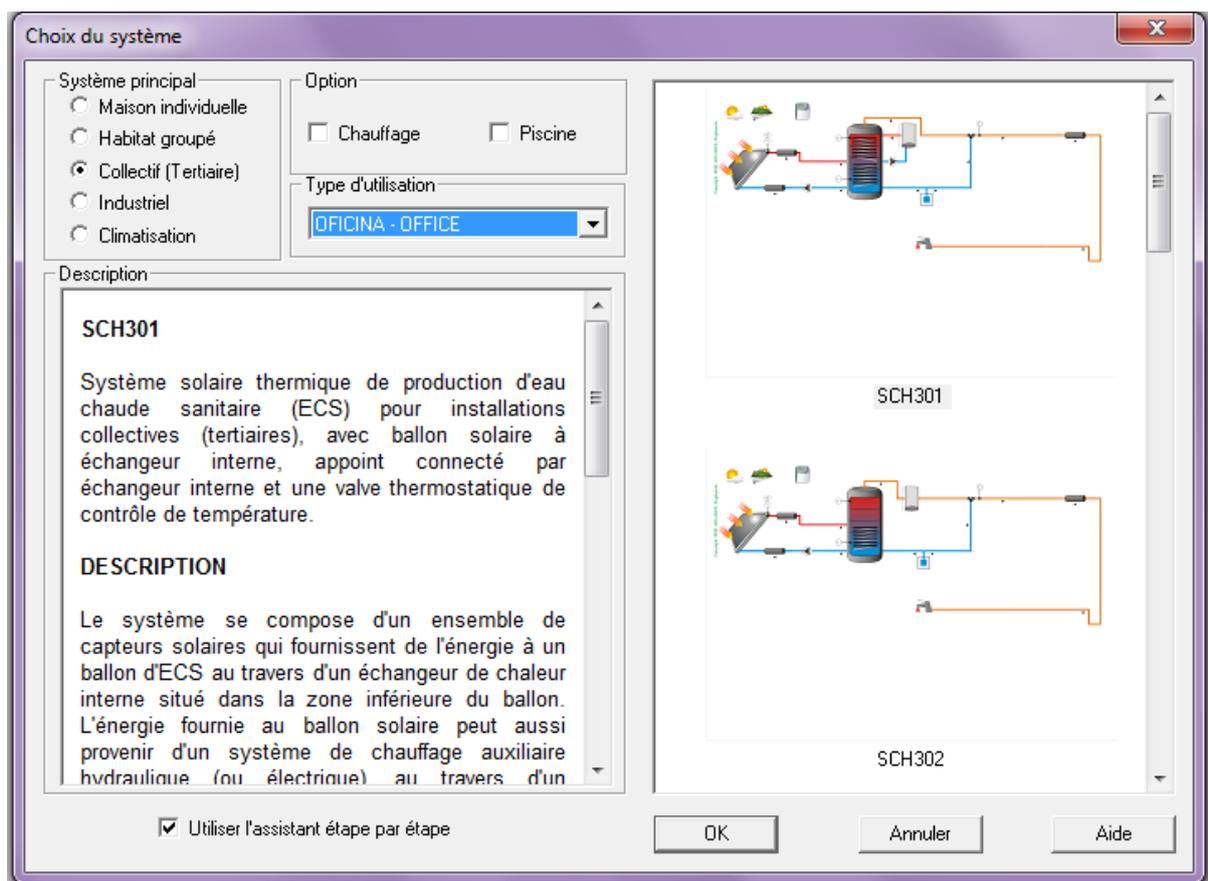


Figure 4.1 : Choix du type d’installation.

- Propriétés de simulation
 - Période de simulation,
 - Pas de temps.

- Détermination température EF suivant :

- Calcul basé sur la température ambiante.
- Calcul basé sur la moyenne annuelle des températures.
- Calcul basé sur la réglementation du pays.
- Saisie des températures moyennes mensuelles – Données météo.
- Possibilité d'importer des fichiers (*.tm2, *.tmy2, *.epw, *.iwecc, *.cwec, *.dat).
- Utilisation base de données.

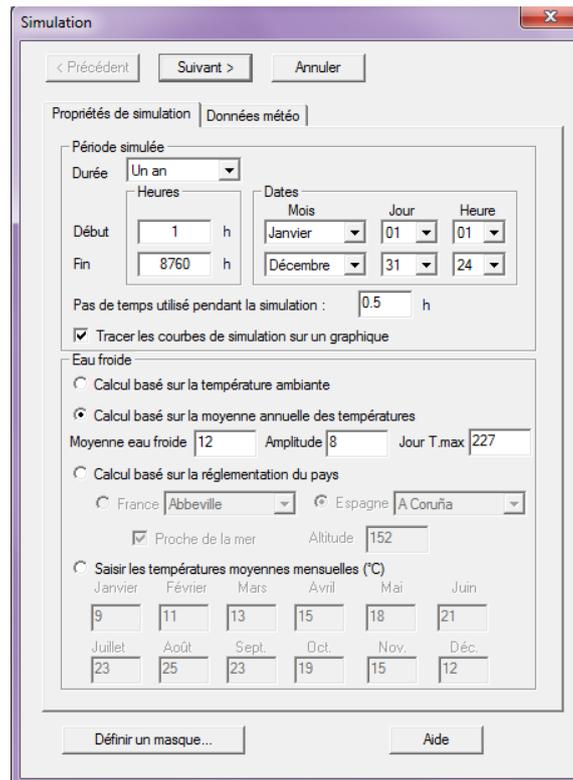


Figure 4.2 : Propriétés de simulation.

- Fichier météo synthèse suivant latitude, longitude et altitude.

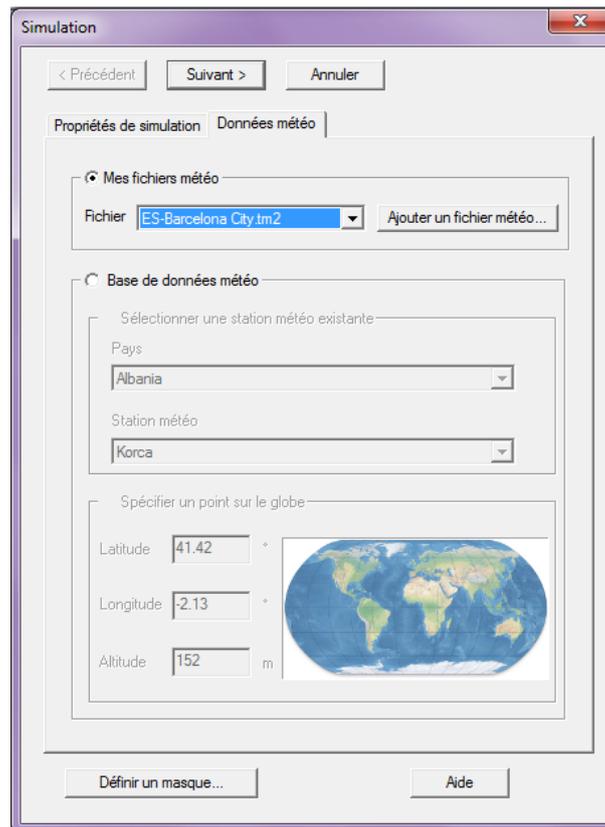


Figure 4.3 : Données météo.

- Consommation moyenne journalière
 - Température de l'eau
 - Besoins évalués sur le nombre d'occupant
 - Définir un profil journalier et mensuel de puisage



Figure 4.4 : Consommation moyenne journalière.

○ Simulation et résultats attendus

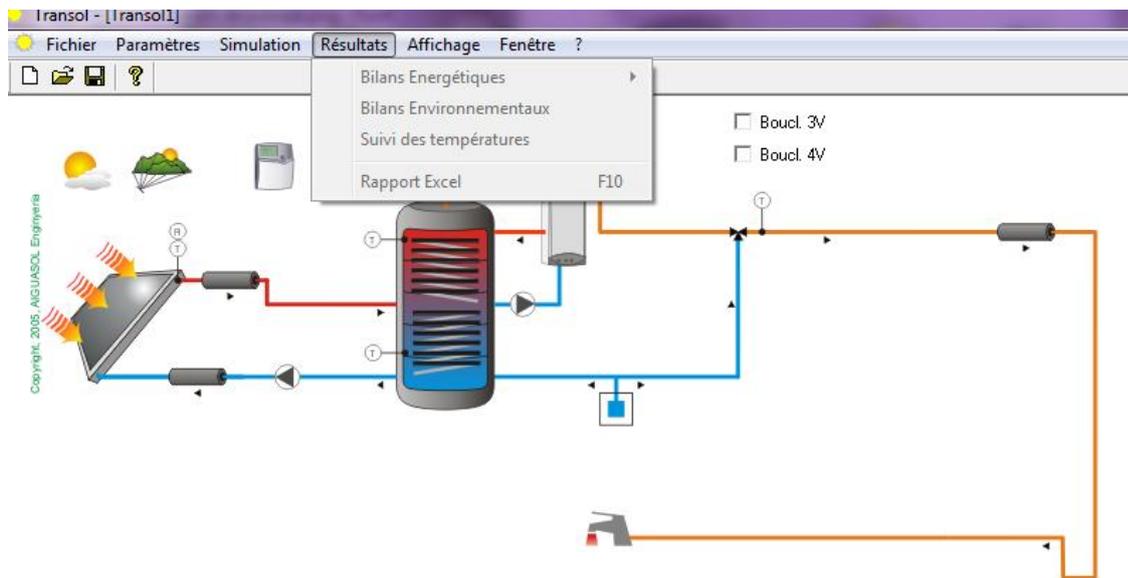


Figure 4.5 : Simulation et résultats attendus.

IV- 3- Présentation de la zone d'étude :

L'étude est faite pour une installation d'un chauffe-eau solaire individuel thermosiphon "KSH modèles 302S" monté pour alimenter un espace à usage de bureau au CDER à Bouzareah dans la zone d'Alger.

Les données astronomiques pour cette zone sont :

- Latitude : 36.8°
- Longitude : 3°

La situation géographique du site d'étude est représentée dans la figure 4.6.

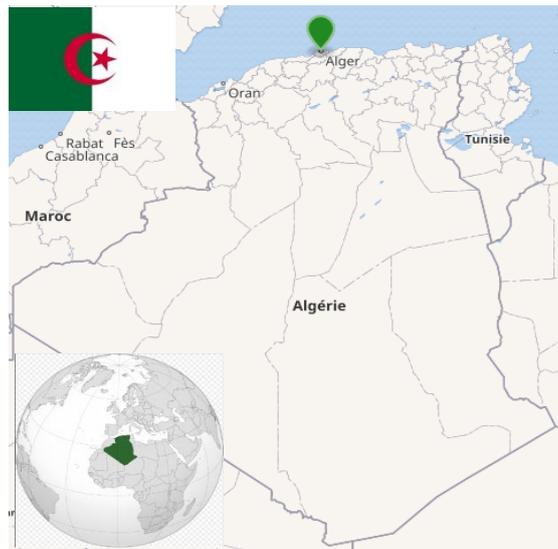


Figure 4.6 : Carte géographique du site.

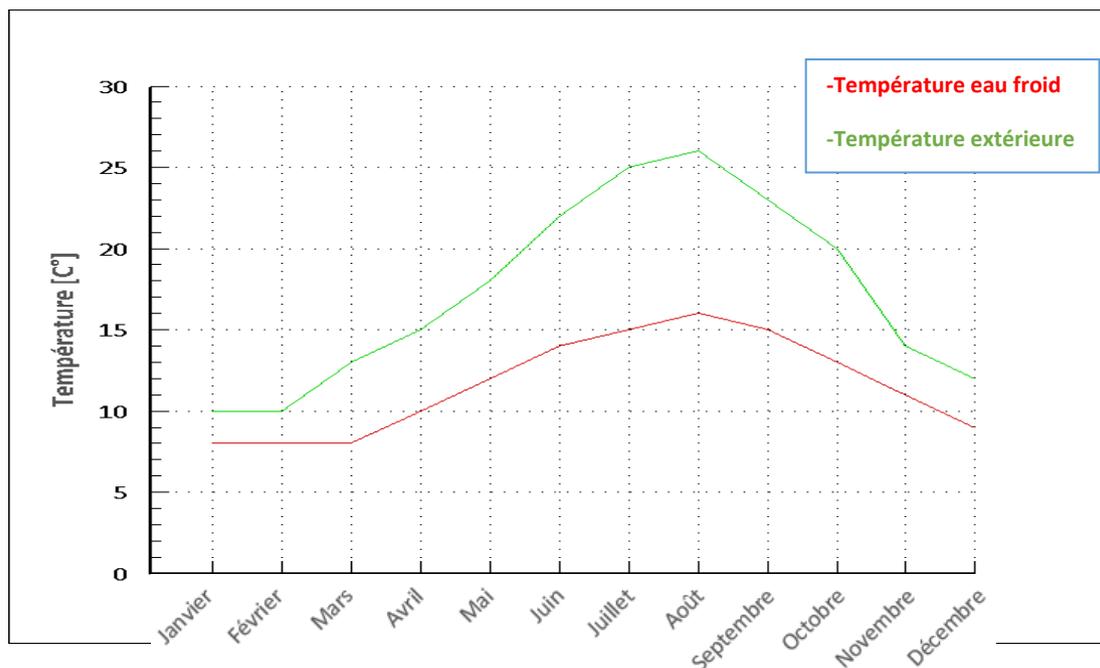


Figure 4.7 : Température d'extérieur et d'eau froide du site.

On remarque que les deux températures suivent la même allure (une forme de cloche), ce qui justifie la corrélation entre ces deux températures. On remarque aussi qu'ils atteignent leurs maximum en été et les minimums en hiver, la température extérieure est toujours supérieure à celle de l'eau froid.

IV- 4- Résultats et discussion :

Le bureau est occupé par 3 personnes. Nous avons fait varier leur consommation totale par jour et nous avons simulé pour 20l, 25l et 30l.

Après les simulations, nous avons trouvé les résultats suivants :

IV- 4-1- Fraction solaire :

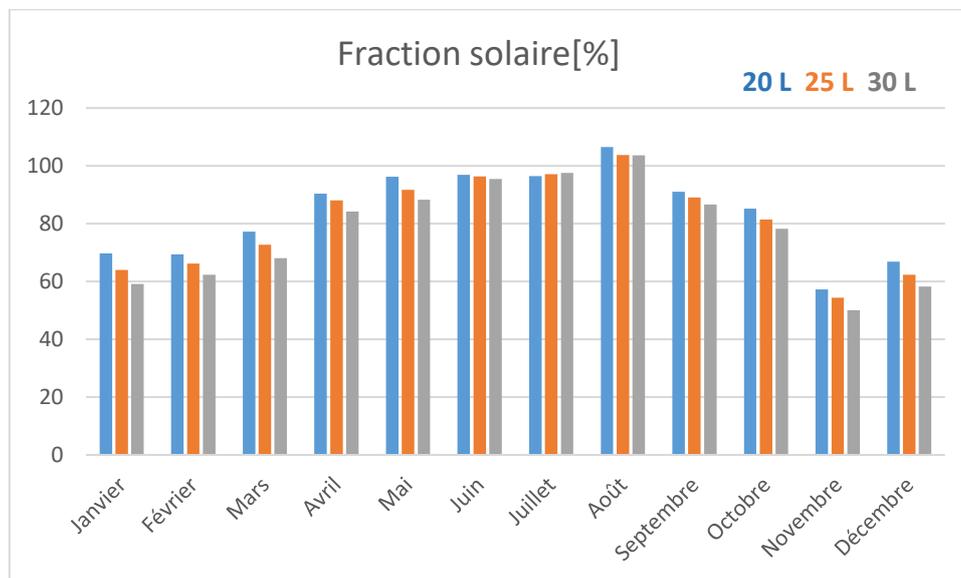


Figure 4.8 : Fraction solaire des différentes consommations.

- ✓ La figure 4.7 représente un graphe qui illustre la fraction solaire des différentes consommations (20l, 25l, 30l) par rapport au mois de l'année.
- ✓ La fraction solaire représente le rapport entre la production énergétique annuelle du système solaire et les besoins énergétiques totaux annuels nécessaires à la production d'eau chaude sanitaire.
- ✓ Donc, d'après le graphe on remarque que la fraction solaire en hiver est inférieure à celle d'été car quand la production de système solaire est faible par conséquent on a une fraction solaire faible vice versa et elle est liée à la durée d'éclairement qui joue un rôle important dans cette production car la durée de jour en hiver est inférieure que celle d'été c'est pour cela qu'on a durant la période d'été une fraction solaire importante et supérieure de celle d'hiver.
- ✓ Et on remarque aussi qu'on a une relation entre le volume de consommation d'ECS et la fraction solaire plus le besoin d'eau chaude sanitaire (le soutirage) augmente plus la fraction solaire va se diminuer vice versa. Donc c'est une relation inverse entre la fraction solaire et le besoin d'ECS par jour par personne comme le montre le graphe

Le tableau 4.1 qui représente les fractions solaires annuelles par rapport ou différentes consommations illustre mieux cette interprétation :

Tableau 4.1 : les fractions solaires annuelles par rapport ou différentes consommations

Le volume de consommation par (jrs /personne)(L)	20L	25L	30L
La fraction solaire nette (%)	82.7%	79.2%	75.9%

IV- 4-2- besoins énergétiques :

La Figure 4.9 représente la radiation solaire et le besoin énergétique de la consommation pour un soutirage de 20 l/j.

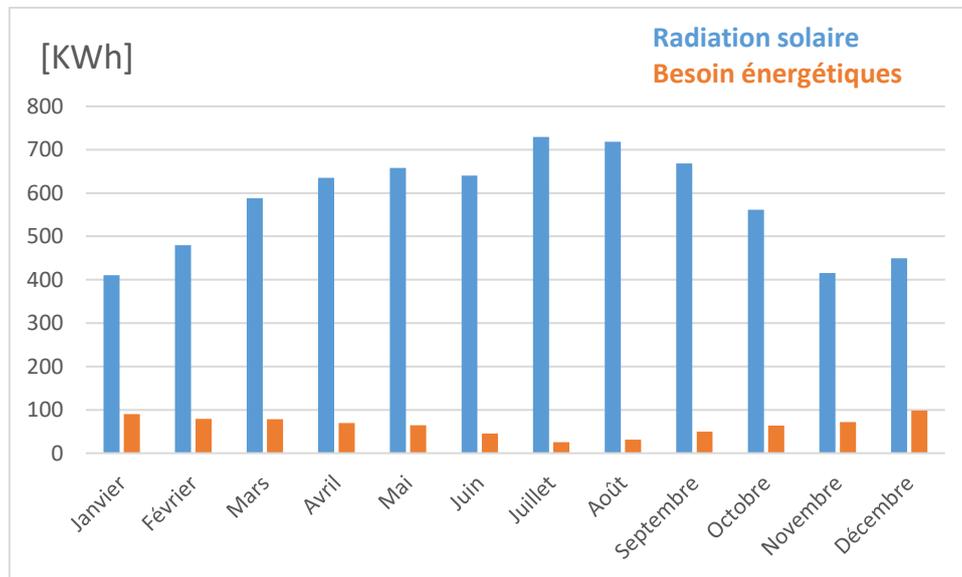


Figure 4.9 : Radiation solaire et besoins énergétiques (soutirage : 20l/j)

- ✓ Comme le montre le graphique, on a durant la période d’hiver une radiation solaire qui varie entre (400- 480 kWh) qui est inférieure à celle d’été qui varie à son tour entre (620-700 kWh) et contrairement aux besoins énergétiques on a pendant la période d’hiver un besoin qui varie entre (50_100 kWh) qui est supérieure par rapport au besoin d’été qui varie entre (5-35 kWh) donc on a une relation inverse entre ces deux paramètres.

La Figure 4.10 représente la radiation solaire avec le besoin énergétique de la consommation pour un soutirage de 25 l/j.

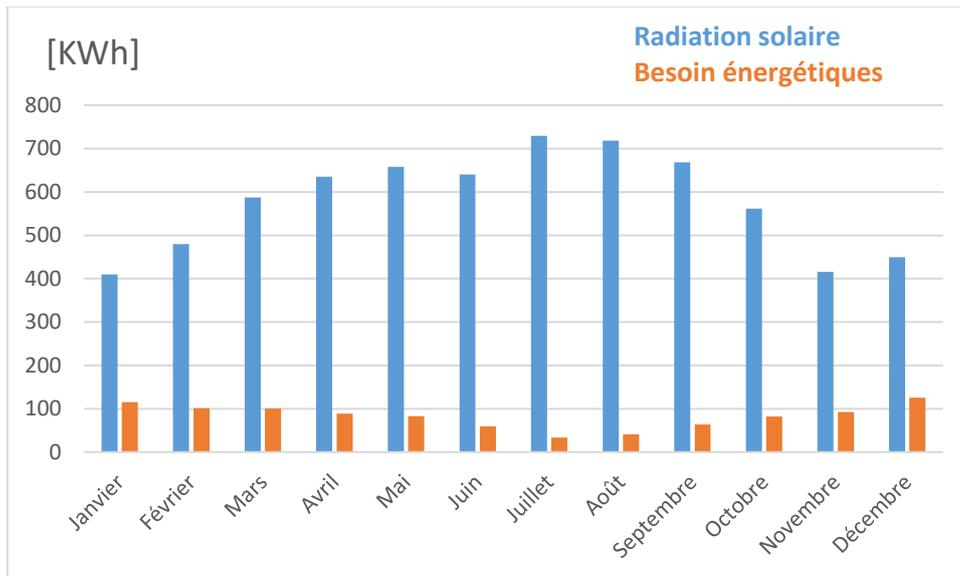


Figure 4.10 : Radiation solaire et besoins énergétiques (soutirage : 25l/j)

Donc comme le montre le graphe on a durant la période d’hiver une radiation solaire qui varie entre (410-485 kWh) qui est inférieure à celle d’été qui varie à son tour entre (635-720 kWh) et contrairement aux besoins énergétiques on a pendant la période d’hiver un besoin qui varie entre (90_105 kWh) qui est supérieure par rapport au besoin d’été qui varie entre (10-50 kWh) donc on a une relation inverse entre c’est deux paramètres.

La Figure 4.11 représente la radiation solaire avec le besoin énergétique de la consommation pour un soutirage de 30 l/j.

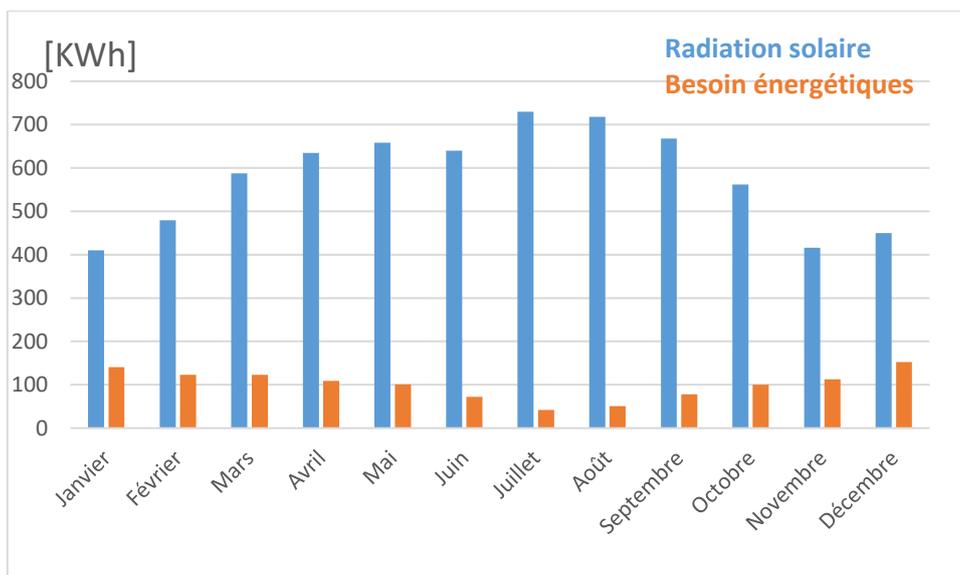


Figure 4.11 : Radiation solaire et besoins énergétiques (soutirage : 30 l/j)

- ✓ Donc comme le montre le graphe on a durant la période d’hiver une radiation solaire qui varie entre (400-485 kWh) qui est inférieure à celle d’été qui varie à son tour entre (650-735 kWh) et contrairement aux besoins énergétiques on a pendant la période d’hiver un besoin qui varie entre (105_150 kWh) qui est supérieure par rapport au besoin d’été qui varie entre (15-70 kWh) donc on a une relation inverse entre c’est deux paramètres.
- ✓ D’après les différents graphes on distingue aussi que plus la radiation solaire reçue est importante plus la production du système solaire va augmenter et par conséquent notre besoin énergétique va diminuer.

Les besoins varient d’une saison à une autre selon les comportements et les habitudes des consommateurs (on a plus besoin d’eau chaude en hiver qu’en été) Elle varie même durant la journée (on peut remarquer des pics autour de midi ou la consommation est au maximum.)

La figure 4.12 représente des histogrammes des besoins énergétiques nets au fil des mois de l’année.

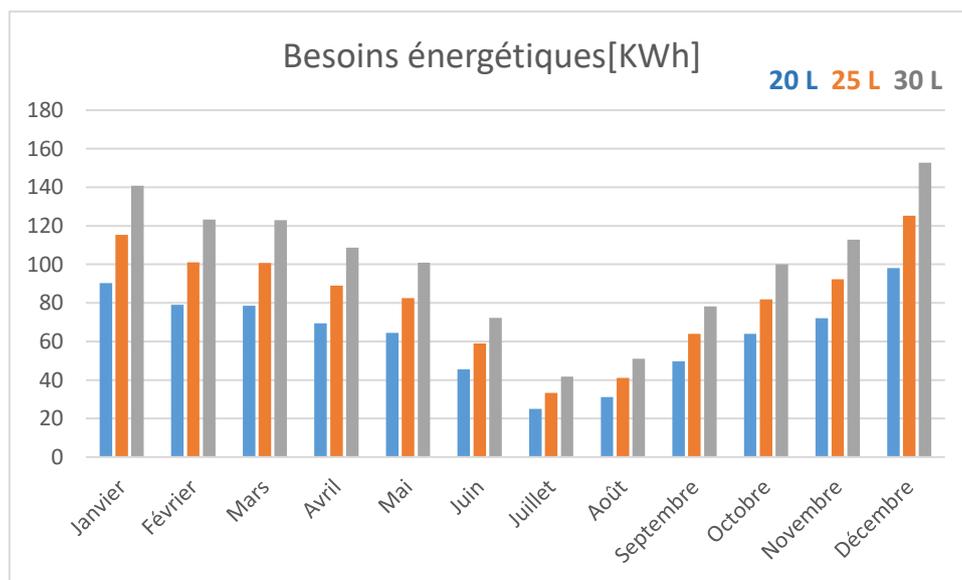


Figure 4.12 : besoins énergétiques nets

- ✓ D’après le graphe on remarque que les besoins énergétiques durant la période d’hiver sont plus élevés que celle de la saison estivale. Après l’analyse de ce graphe on peut dire aussi que plus les besoins en eau chaude sanitaire est important plus le besoin énergétique net augmente pour satisfaire cette consommation.

Le tableau 4.2 illustre la variation de couverture des besoins en fonction de volume de besoin en ECS :

Tableau 4.2 : variation de couverture des besoins en fonction de volume de besoin

Les besoins en ECS(L)	20L	25L	30L
Couverture des besoins (%)	89.73	92.24	94.02

IV- 4-3- Système d’appoint :

Le but de cet appoint est d’assuré la température désiré pour l’utilisation d’eau chaude sanitaire lorsque le système n’atteindre pas à cette température.

La figure 4.13 représente la consommation de l’appoint électrique intégré au système de chauffe-eau solaire étudié en fonction des mois de l’année pour les différents soutirages.

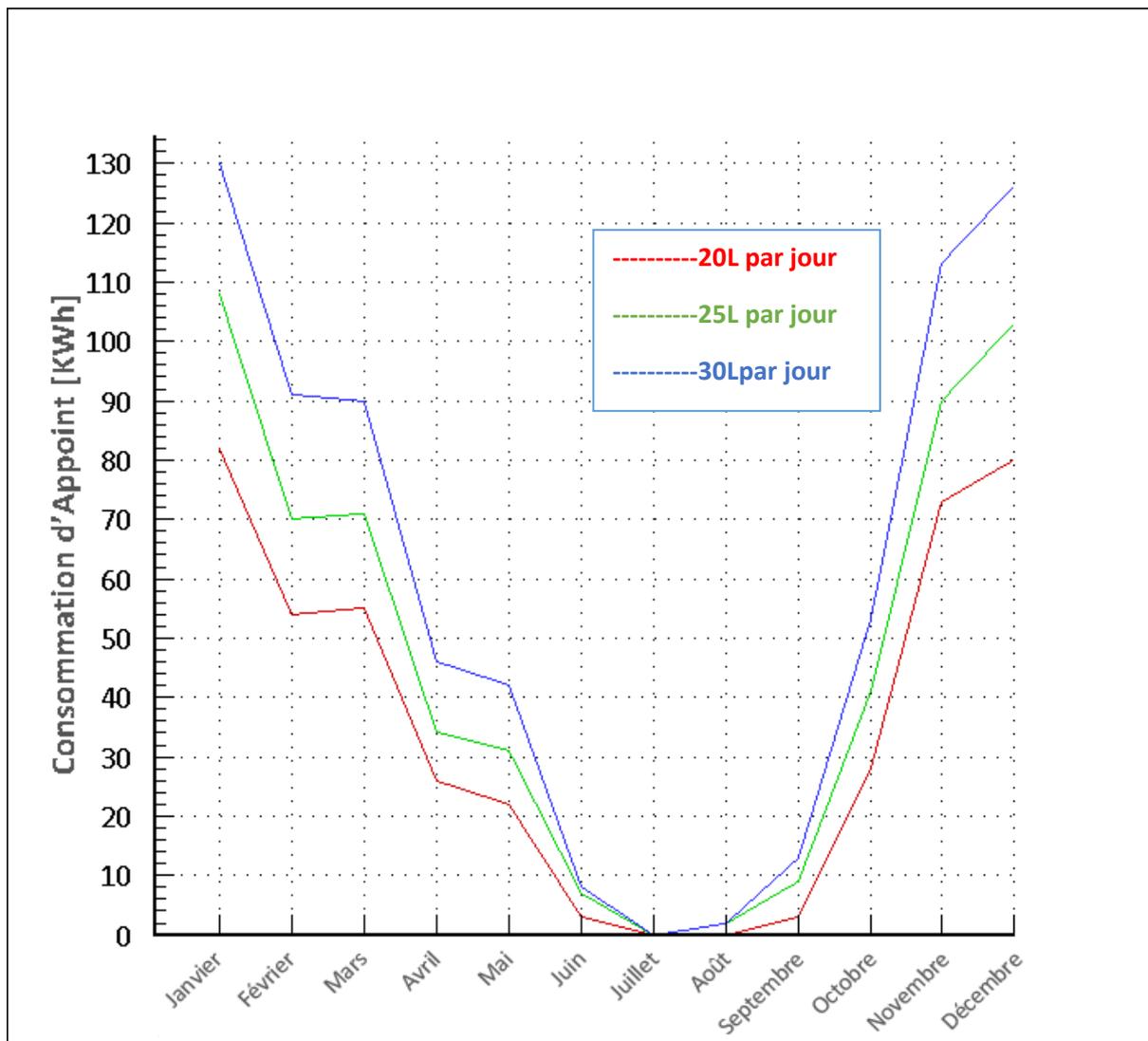


Figure 4.13 : consommation de l’appoint en fonction des mois de l’année pour les différents soutirages

Chapitre IV : Résultats et discussion

- ✓ D'après le graphe on remarque qu'on a une importante consommation énergétique d'appoint en période d'hiver qui varie entre (80-130 kWh) selon le volume de consommation et durant la période estivale cette dernière diminue jusqu'à être nulle durant les mois (juin, juillet, Août) pour les différents soutirages. On peut dire qu'en cette période le système est autonome et fonctionne 100% solaire.

Le tableau 4.3 nous donne les différentes consommations pour les différents soutirages avec et sans système solaire

Tableau 4.3 : consommations du système d'appoint (avec et sans système solaire)

		Avec système solaire	Sans système solaire
Conso. Appoints 20 L	[kWh]	426	1963
Conso. Appoints 25 L	[kWh]	565	2151
Conso. Appoints 30 L	[kWh]	714	2343

On remarque que la consommation du système d'appoint est plus importante sans système solaire qu'avec système solaire. On remarque aussi que plus les besoins sont importants plus la consommation de l'appoint est importante d'où l'importance de recourir à des systèmes solaires pour de grandes installations.

Conclusion générale

Conclusion générale

Le sujet de notre mémoire porte sur l'étude de l'influence du puisage sur une installation d'un Chauffe-eau solaire individuel thermosiphon "KSH modèles 302S". Cette installation est équipée de deux capteurs solaires plans de type : CC8/11.SU et d'un réservoir de 300 litres, et montée pour alimenter un espace à usage de bureau au CDER à Bouzareah trois personnes avec un puisage en moyenne variant de 6l-10l/par personne.

Les simulations l'influence du puisage ont été faites avec le logiciel Transol sous TRANSYS est un outil prédictif des performances thermiques des installations d'eau chaude et de climatisation solaires dans l'habitat individuel, collectif et tertiaire. Principalement destiné aux bureaux d'études et aux installateurs thermiques.

Les résultats obtenus sont intéressants et satisfaisants. Nous avons fait varier le profil de puisage puisque nous avons fait 3 simulations : pour un soutirage de 20l/jour ,25l/jour et 30l/jour pour étudier la fraction solaire et les besoins énergétiques en fonctions des mois de l'année et l'apport du système d'appoint en période de non ensoleillement ou insuffisant.

Les résultats ont montré qu'on a une relation entre le volume de consommation et la fraction solaire plus le besoin d'eau chaude sanitaire (le soutirage) augmente plus la fraction solaire va se diminuer vice versa. Donc c'est une relation inverse entre la fraction solaire et le besoin d'ECS par jour par personne.

Nous avons constaté aussi que plus la radiation solaire reçue est importante plus la production du système solaire va augmenter et par conséquence notre besoin énergétique va diminuer.

On a remarqué que les besoins énergétiques durant la période d'hiver sont plus élevés que celle de la saison estivale. Après l'analyse de ce graphe on peut dire aussi que plus les besoins en eau chaude sanitaire est important plus le besoin énergétique net augmente pour satisfaire cette consommation.

Pour ce qui est du système d'appoint intégré on remarque qu'on a une importante consommation en période d'hiver et durant la période estivale cette dernière diminue jusqu'à être nulle durant les mois (juin, juillet, Août) pour les différents soutirages. On peut dire qu'en cette période le système est autonome et fonctionne 100% solaire.

On remarque donc que la consommation du système d'appoint est plus importante sans système solaire qu'avec système solaire. on remarque aussi que plus les besoins sont important plus la consommation de l'appoint est importante d'où l'importance de recourir à des systèmes solaires pour de grandes installations.

Conclusion générale

Les résultats sont prometteurs et nous recommandons la généralisation des systèmes de chauffage d'eau collectifs ou individuelles pour rationaliser notre consommation énergétique et diminuer la facture énergétique du consommateur.

Références bibliographiques

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [01]- <https://www.energy.gov.dz/?rubrique=energies-nouvelles-renouvelables-et-maitrise-de-lrenergie>
- [02]- **Aprue** : agence nationale de rationalisation de l'énergie.
- [03]- **K.JOHANNES** «Optimisation des installations solaires collectives d'eau chaude sanitaire : application des techniques « des faibles débits » et « du stockage divisé » » Thèse de Doctorat, Université de Savoie. (2005)
- [04]- **A. Diop SY** « Conception et réalisation d'un chauffe-eau solaire.» Mémoire d'ingénieur, Département Génie Mécanique, Ecole Supérieure Polytechnique Centre de THIES, Sénégal, université cheikh Anta Diop de Dakar. (2007)
- [05]- **Yu Bai, Gilles Fraise, Lingai Luo et Bernard Souyri** «Optimisation des performances énergétiques, économiques et environnementales des installations de production d'eau chaude solaire individuelles ».Congrès Français de Thermique, SFT 2007, Île des Embiez, 29 mai - 1 juin 2007. (2007)
- [06]- **M.M.A. Khana, A.B.M. Abdul Maleka, M.A.H. Mithua et D.K. Dasb.** «Design, fabrication and performance evaluation of natural circulation rectangular box-type solar domestic water heating system ». International Journal of Sustainable Energy, Vol. 29, No. 3, September 2010, 164–177. (2010)
- [07]- **M. Picón-Núñez, G. Martínez-Rodríguez et A. L.Fuentes-Silva** «Design of solar collector networks for industrial applications» Applied Thermal Engineering ,Volume 70, Issue 2, Pages 1238-1245. (2014)
- [08]- **Zhiyong Zhou , Liming Wang , Chunxia Li et Alan Ebert** «Performance Analysis of a Collective Solar Domestic Water-Heating System in the Temperate Zone of Yunnan Province, China» Journal of Engineering Science and Technology Review 9 (3) pp 60 – 65. (2016)
- [09]- **Liangliang Sun , Nan Xiang, Yanping Yuan et Xiaoling Caoet** « Experimental Investigation on Performance Comparison of Solar Water Heating-Phase Change Material System and Solar Water Heating System» Energies 2019, 12, 2347; doi:10.3390/en12122347. (2019)
- [10]- **A. Hamid, S. Sami, D. Semmar, D. Lafri et R. Kharchi** « Etude et Réalisation d'une Installation Solaire de Chauffage d'Eau Collectif ». CDER, Revue des Energies Renouvelables, Zones Arides pp 95-100. (2002)
- [11]- **S.Sami-Mecheri, A.Hamid2, N. Ait Messaoudenne et M. Belhamel** «Etude de la Rentabilité d'une Installation Solaire de Chauffage d'Eau Collective Application à Différents Sites Algériens. » CDER, Revue des Energies Renouvelables, 11èmes Journées Internationales de Thermique pp 53-57. (2003)
- [12]- **S-A. Hakem, N. Kasbadji–Merzouk et M. Merzouk** «Performances journalières d'un chauffe eau solaire». CDER, Revue des Energies Renouvelables CICME'08 Sousse pp 153 – 162. (2008)

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [13]- **S-A. HAKEM** « Étude stochastique des performances journalières d'un chauffe eau solaire» Mémoire de Magister, Faculté de Génie Mécanique et Génie des Procédés, Université des sciences et de la technologie houari Boumediene. **(2010)**
- [14]- **A. Berchide**« Etude et expérimentation d'un chauffe-eau solaire de type capteur stockeur» Mémoire de Master, Faculté des Sciences, Université Abou Bekr Belkaid de Tlemcen, Tlemcen, Algérie. **(2011)**
- [15]- **I. Zeghibet A. Chaker** « Simulation of a solar domestic water heating system» Science Direct Energy Procedia 6 pp 292–301. **(2011)**
- [16]- **M. Koussa, M. Haddadi et A. Malek** «Effet à long terme de la poursuite sur les performances d'un système de chauffe eau solaire». CDER, Revue des Energies Renouvelables Vol. 15 N°2 pp 249 – 264. **(2012)**
- [17]- **M. Benbrika, M. Benbelhout et M. Teggat** «Amélioration de l'efficacité thermique d'un chauffe-eau solaire par l'utilisation de matériaux à changement de phase (MCP)».3ème conférence Internationale des énergies renouvelables CIER-2015. International Journal of Scientific Research & Engineering Technology (IJSET). **(2015)**
- [18]- **A. Harmim , M. Boukar, M. Amar et A. Haida** «Etude expérimentale d'un chauffe-eau solaire auto-stockeur à intégrer au mur de l'habitation saharienne». CDER, Revue des Energies Renouvelables Vol. 21 N°2 pp 315 – 325. **(2018)**
- [19]- <https://www.futura-sciences.com/maison/dossiers/chauffage-chauffe-eau-solaire-bon-choix-coup-792/page/2/>
- [20]- **Chris Laughton** «EAU CHAUDE SOLAIRE Conception et installation des chauffe-eau solaire». ISBN : 978-2-10-057300-4. **(2010)**
- [21]- <https://www.cnrtl.fr>
- [22]- **Concevoir→Eau chaude sanitaire→Concevoir globalement l'ECS** «Prédimensionner une installation sanitaire tertiaire». <https://energieplus-lesite.be>
- [23]- **P. Braud** «Plomberie - Eau chaude sanitaire» technique de l'ingénieur. **(2003)**
- [24]- www.astrosurf.com/astrospace/soleil.htm
- [25]- **S.M. BEKKOUCHE** « Modélisation du Comportement Thermique de Quelques Dispositifs Solaires » projet de fin d'étude de Doctorat en physique. Option Electronique et Modélisation. L'Université Abou-Bakr Belkaid- Tlemcen. **(2009)**
- [26]- **Afnor, norme P50-501** « capteur solaire à circulation de liquide : détermination de la performance thermique » **1980**
- [27]- **INFO → ENERGIE, les fiches pratiques N°01** « le chauffe-eau solaire individuel ». www.bretagne-energie.fr

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[28]- Yves JANNOT « Thermique solaire » cours, <http://www.thermique55.com/principal/thermiquesolaire.pdf> (2011)

[29]- Samuel BRAGARD « le chauffe eau solaire » Energie 2030 Agence s.a.

[30]- Avis Technique 14.4/12-1815_V1, KSH SH, CSTB. (2017)

[31]- CSTB : Centre Scientifique et Technique du Bâtiment.