



Université Mohamed Khider Biskra  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
Département de Génie Electrique  
Filière : Électrotechniques  
Option : Energies Renouvelables

Réf:...

**Mémoire de Fin d'Etudes  
En vue de l'obtention du diplôme:**

**MASTER**

**Thème**

**SUIVI A DISTANCE DES PERFORMANCES ENERGETIQUES  
D'UN CHAUFFE-EAU SOLAIRE INDIVIDUEL**

**Présenté par :  
AHMIDATOU ABDELHAFIDH  
Soutenu le : 02 Juin 2014**

**Devant le jury composé de :**

**Mme. Deradji Belloum Karima**

**Mme. Sahnoune Fatiha**

**Mr. Abdeldaim Sabrina**

**Mr. MIMOUNE Mohamed souri**

**M.A.A**

**C.R**

**M.C.B**

**P.F**

**Président**

**Encadreur**

**Examinateur**

**Co-Encadreur**

**Année universitaire : 2013 / 2014**

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la recherche scientifique



Université Mohamed Khider Biskra  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
Département de Génie Electrique  
Filière : Électrotechniques  
Option : Energies Renouvelables

Mémoire de Fin d'Etudes  
En vue de l'obtention du diplôme:

**MASTER**

**Thème**

**SUIVI A DISTANCE DES PERFORMANCES ENERGETIQUES D'UN  
CHAUFFE-EAU SOLAIRE INDIVIDUEL**

**Présenté par :**

**AHMIDATOU ABDELHAFIDH**

**Avis favorable de l'encadreur :**

**Mme : SAHNOUNE FATIHA**

**Co-Encadreur :**

**Mr. MIMOUNE MOHAMED SOUR**

**Avis favorable du Président du Jury**

**Mme : DERADJI BELLOUM KARIMA**

*Signature*

**Cachet et signature**



Université Mohamed Khider Biskra  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
Département de Génie Electrique  
Filière : Électrotechniques  
Option : Energies Renouvelables

## Thème :

### SUIVI A DISTANCE DES PERFORMANCES ENERGETIQUES D'UN CHAUFFE-EAU SOLAIRE INDIVIDUEL

Proposé par : SAHNOUNE FATIHA  
Dirigé par : SAHNOUNE FATIHA

## Résumé

### ملخص :

عملنا هذا يمثل في كيفية تركيب نظام منزلي لتوفير الماء الساخن بواسطة الطاقة الشمسية مع دراسة المزايا الطاقوية لاحسن فكرة لهذه الدراسة قمنا بدراسة البعاد بالاستعانة بنظام solo الذي يتضمن حساب الانتاجية الشهرية و السنوية للنظام المدروس , الاختبار اجري في في مركز تطوير الطاقات المتجددة بوزريعة ومن بين النتائج المتحصل عليها:

- الحرارة مرتفعة
- ارتفاع حرارة الماء في اقل من 30د

**Résumé :** Notre travail consiste à expérimenter des installations solaire, individuelle a d'étudier les performances énergétiques pour une meilleur conception.

Nous avons établi une méthode de dimensionnement effectué par un logiciel SOLO développé par CSTB, France, qui consiste à calculer les productivités mensuelle et annuelle de l'installation.

L'expérimentation est réalisée en premier lieu au sien du centre de développement des énergies renouvelables (CDER) à BOUZAREAH.

Les résultats expérimentaux sont représentés sous forme de courbes. Les mesures effectuates sont :

- La température ambiante ;
- L'éclairément global ;
- L'évolution de la température de l'eau entrée-sortie capture ;
- L'évolution de la température de l'eau entrée-sortie cuve.

Avec un pas de temps de 30 minutes.

# Remerciement

Je tiens tout d'abord à remercier *ALLAH* le tout puissant et miséricordieux, qui m'a donné la force, m'a inspiré les bons pas d'accomplir ce modeste travail.

En second lieu, j'adresse mes profondes reconnaissances à mon encadreur *Mme SAHNOUNE FATIHA*, pour ses précieux conseils, son orientation ficelée, sa patience et son aide tout au long de ma recherche.

Je veux bien aussi adresser mes profonds remerciements à mon coencadreur *Mr MAMOUNE SOUBI MOHAMMED* qui m'a encouragé et soutenu tout au long de mon cursus universitaire.

Mes remerciements s'étendent également aux membres de jury : *Mme Abd Elidaima Sabrina* et *Mme DARRAJ BELOUANE KARIMA* d'avoir bien voulu accepter d'examiner mon travail et de l'enrichir par leurs critiques et propositions.

Je n'oublie pas mes enseignants du département de Génie Électrique pour leurs efforts fournis durant les années d'étude.

Au final, Je remercie toute personne ayant participé de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire par un mot, une idée, une référence...

*HAFID*

## *Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail*

*Aux deux personnes les plus chères pour leur éducation, soutien morale et leurs sacrifices tout au long de ma formation dans des bonnes conditions « mes parents ».*

*À ma douce mère qui m'a transmis la vie, la tendresse et l'amour.*

*À mon affectueux père, l'école de mon enfance qui a été mon ombre durant toute ma vie.*

*À mes frères : Selmane et Haroune.*

*À mon adorable sœur : Imane.*

*À toute la famille : Ahmidatou.*

*À tous mes amis et en particulier : Ibrahim, Ramzi, Yasser, Abdou, Amine,*

*Walid, Salmen, Tarak, Hassae, Khaled et Abd El Ouadoud avec lesquels*

*j'ai partagé les bons moments de joie et de bonheur. Que notre amitié*

*s'enracine.*

*A Toute la promotion 2013\_2014.*

*A Toute personne que j'ai oublié par mon stylo et non pas par mon cœur.*

*ABDELHAFID*

# SOMMAIRE

## Résumé

---

INTRODUCTION GENERALE .....	1
-----------------------------	---

## Chapitre I :

---

I.2- PRINCIPES GENERAUX.....	2
I.2.1- Le gisement solaire : .....	2
I.2.2- Bilan de l'énergie solaire sur la terre : .....	3
I.2.3- Captage du rayonnement solaire: .....	4
I.2.4- Types de capteurs solaires plans:.....	4
I.2.4.1- Les capteurs sans vitrage ni isolation: .....	4
I.2.4.2- Les capteurs à hautes performances: .....	5
I.2.4.3- Les capteurs vitrés : .....	6
I.3- PRODUCTION D'EAU CHAUDE PAR ENERGIE SOLAIRE: .....	6
I.3.1- Le captage : .....	7
I.3.2- Principe de fonctionnement : .....	7
I.3.3- Le transfert de l'énergie et le stockage: .....	9
I.3.3.1- Le transfert de l'énergie:.....	9
I.3.3.2- Le stockage .....	10
I.3.4- Les échangeurs de chaleur : .....	10
I.3.5- L'appoint : .....	12
I.4- CARACTERISTIQUES D'UN CAPTEUR SOLAIRE PLAN: .....	12
Conclusion.....	15

## Chapitre II

---

II.1 Introduction. ....	16
II.2 Évaluation des performances d'une installation solaire. ....	16
II.2.1. La production énergétique instantanée d'un capteur solaire : .....	16
II.2.2. Interaction entre système, état du système et production : .....	17
II.2.3. Le taux de couverture solaire .....	18

II.2.4. la productivité des capteurs solaires : .....	18
II.3. Recueil des données nécessaires.....	18
II.3.1. Données nécessaires concernant les besoins en eau chaude.....	18
II.4. Choix du schéma de principe de l'installation.....	19
II.5. Dimensionnement de l'installation. ....	20
II.5.1. Dimensionnement des capteurs solaires .....	20
II.5.2. Dimensionnement du stock: .....	20
II.5.3 Dimensionnement de l'appoint électrique.....	21
II.5.4. Dimensionnement de l'isolant thermique du ballon. ....	23
II.5.5. Dimensionnement de la canalisation. ....	24
II.5.6. Dimensionnement de l'échangeur .....	24
II.5.7. Dimensionnement de l'appoint.....	25
II.6. Application de la méthode de calcul. ....	25
II.6.1 Condition d'un bon dimensionnement: .....	25
II.6.1.1 Paramètre de calcul.....	25
II.7. Résultats de calculs. ....	32
II.8. Interprétation des résultats de dimensionnement.....	33
Conclusion.....	33

### Chapitre III :

---

III.1- INTRODUCTION : .....	34
III.2- DESCRIPTION DU BANC D'ESSAI : (BOUZAREAH).....	34
III.3- EMBLACEMENT DES SONDÉS .....	35
III.4- ORIENTATION ET INCLINATION .....	35
III.5- DEROULEMENT DE L'EXPERIMENTATION .....	35
III.6- PARAMETRES À MESURER .....	35
III.7- MESURES DES TEMPERATURES DE L'EAU .....	36
III.7.1- Au niveau de la cuve de stockage et des capteurs.....	36
III.8-PRINCIPE D'UN THERMOCOUPLE .....	37
III.8.1- Choix des thermocouples .....	37
III.8.2- Normalisation des thermocouples:.....	38
III.9- MESURE DE L'ECLAIREMENT GLOBAL INCLINE:.....	39
conclusion.....	39

## Chapitre IV :

---

IV.1 Introduction .....	40
IV.2 Interprétation : .....	40
IV.2.1 Site de BOUZAREAH .....	40
Conclusion.....	43

CONCLUSION GENERALE

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

ANNEXES



## Liste des Figures

<b>Figure 1.1</b> : Propagation du rayonnement solaire dans l'atmosphère terrestre	03
<b>Figure 1.2</b> : Bilan de l'énergie solaire sur la terre	04
<b>Figure 1.3</b> : Capteur sans vitrage	05
<b>Figure 1.4</b> : Capteur sous vide	05
<b>Figure 1.5</b> : Absorbeur et revêtement sélectif	06
<b>Figure 1.6</b> : Schéma synoptique d'une installation de production d'eau chaude solaire	07
<b>Figure 1.7</b> : Capteur plan vitré	08
<b>Figure 1.8</b> : Capteur vitré et les pertes thermiques	09
<b>Figure 1.9</b> : Chauffe- eau solaire individuel à thermosiphon	09
<b>Figure 1.10</b> : Ballon de stockage	10
<b>Figure 1.11</b> : Les échangeurs de chaleur	11
<b>Figure 1.12</b> : Les variations du Rendement instantané en fonction de la température réduite ( /G) du capteur solaire	14
<b>Figure 1.13</b> : Rendement d'un capteur solaire ( $\eta \% / (t_m - t_a) / w$ )	15
<b>Figure 2.1</b> : Schémas de principe reconnus par SOLO	20
<b>Figure 2.2</b> : Ballon sans échangeur	24
<b>Figure 2.3</b> : Choix de la station et le pays	26
<b>Figure 2.4</b> : Les besoins en eau chaude	27
<b>Figure 2.5</b> : Choisi les caractéristiques de ballon	28
<b>Figure 2.6</b> : Le constante de refroidissement et le type et épaisseur de l'isolant	29
<b>Figure 2.7</b> : Choisi les caractéristiques du capteur I	30
<b>Figure 2.8</b> : Choisi les caractéristiques du capteur II	31
<b>Figure 2.9</b> : Les données météo	32
<b>Figure 2.10</b> : La distribution de la température extérieure mensuelle moyenne	32
<b>Figure 2.11</b> : Résultats de dimensionnement	33
<b>Figure 3.1</b> : banc d'essai du CESI à BOUZAREAH	34
<b>Figure 3.2</b> : Emplacement des thermocouples sur l'installation (BOUZAREAH)	36- 37
<b>Figure 3.3</b> : Pyranomètre utilise pour mesurer l'intensité du rayonnement global	39
<b>Figure 4.a.1</b> : L'évolution de l'éclairement global	41
<b>Figure 4.a.2</b> : L'évolution de la température ambiante	41
<b>Figure 4.a.3</b> : L'évolution de la température de l'eau entrée du capteur	41
<b>Figure 4.a.4</b> : L'évolution de la température de l'eau sortie du capteur	41
<b>Figure 4.a.5</b> : L'évolution de la température de l'eau entrée- sortie capteur	42
<b>Figure 4.a.6</b> : L'évolution de la température de l'eau entrée cuve	42
<b>Figure 4.a.7</b> : L'évolution de la température de l'eau sortie cuve	42
<b>Figure 4.a.8</b> : L'évolution de la température de l'eau entrée- sortie cuve	42

## INTRODUCTION GENERALE

Les énergies renouvelables ont un intérêt particulier par rapport aux autres sources d'énergies d'origines fossiles car :

-L'utilisation de ces derniers se traduit inévitablement par des rejets gazeux qui contribuent à l'aggravation du phénomène de l'effet de serre et la pollution de l'atmosphère, pollution des sols,...etc.

-Ce sont des réserves limitées à l'horizon d'un siècle pour le gaz et le pétrole.

-Et en fin l'énergie représente un poste de dépenses important, comme on le voit bien aujourd'hui pour les industries, les collectivités et les ménages.

L'Algérie étant un pays riche en énergie solaire, l'exploitation de cette source d'énergie inépuisable et non polluante présente un intérêt majeur pour l'économie d'énergie et la protection de l'environnement et offre une source gratuite pendant les années à venir. Parmi les applications les plus performantes et les prometteuses, on trouve l'énergie solaire thermique, car elle est la plus proche de l'utilisateur, et une des plus faciles à mettre en œuvre et à utiliser. En outre, elle est directement liée aux activités quotidiennes. Elle consiste à utiliser l'énergie du rayonnement solaire qui atteint la surface de la terre pour produire de la chaleur aux usages multiples : D'abord pour la production d'eau chaude sanitaire, pour le chauffage des piscines, le chauffage de locaux, la climatisation, ainsi que les applications agricoles et industrielles.

Le chauffage solaire et la production d'eau chaude se trouve parmi les applications les plus répandues et les plus performantes de l'énergie solaire thermique, d'où des recherches sérieuses doivent être menées pour contribuer au développement de ce domaine dans notre pays, pour se faire, nous faisons appel, dans notre travail, aux dernières techniques et savoir afin d'arriver à une meilleure conception du point de vue rentabilité, fiabilité par le suivi à distance des performances d'une installation de chauffe eau solaire individuel.

Le travail est réparti en quatre chapitres. Dans le premier chapitre, nous présenterons des généralités sur les installations de production d'eau chaude solaires,

Le deuxième chapitre sera consacré au dimensionnement de l'installation de production l'eau chaude solaire et nous utilisant le logiciel « SOLO 2000

Le troisième chapitre présentera la méthodologie et suivi de l'installation

Le quatrième chapitre sera relatif aux résultats et interprétation

Nous finalisons notre travail par une conclusion

## **I.1- INTRODUCTION :**

L'énergie solaire est une énergie inépuisable et propre et à l'échelle humaine, elle permet de respecter l'environnement et de préserver la santé et les ressources énergétique, sans produire de déchets ni d'émissions polluantes, notamment du gaz carbonique.

Au-delà des enjeux environnementaux et de l'impact sur la production de gaz à effet de serre, l'eau chaude représente une part non négligeable de la facture énergétique d'un bâtiment ou toute entreprise ou institution publique qui consomme d'importantes quantités d'eau chaude pourrait réaliser des économies grâce au chauffage solaire de l'eau.

## **I.2- PRINCIPES GENERAUX :**

### **I.2.1- Le gisement solaire :**

Le soleil constitue une source d'énergie gratuite et non polluante, dont l'apport annuel moyen en Algérie est évalué à plus de 3000 h d'ensoleillement/an, ce qui représente pour l'ensemble du territoire un potentiel énergétique annuel de 150 000 millions de tonnes équivalent pétrole (tep).

Le rayonnement solaire est un rayonnement thermique qui se propage sous la forme d'ondes électromagnétiques. Il produit à la lisière, mais en dehors de l'atmosphère terrestre, un éclairage énergétique à peu près constant est égal à  $1\,370\text{ W/m}^2$ , appelé de ce fait : constance solaire  $I_{cs}$ .

Pour atteindre chaque point de la surface éclairable du globe terrestre, les rayons solaires traversent l'atmosphère qui dissipe une partie de l'énergie provenant du soleil par :

- Diffusion moléculaire (en particulier pour radiations U.V.) ;
- Réflexion diffuse sur les aérosols atmosphériques (gouttelettes d'eau, poussières) ;
- Absorption sélective par les gaz de l'atmosphère.

L'atténuation correspondante du rayonnement solaire dépend de l'épaisseur de l'atmosphère traversée, celle-ci dépendant à son tour de la latitude du lieu considéré et du temps.

Avant son arrivée dans l'atmosphère terrestre le rayonnement solaire est dirigé figure. (1.1).

Il se présente sous la forme d'un faisceau à peu près parallèle. Seule une partie de ce Rayonnement direct traverse l'atmosphère et répartie à peu près uniformément dans toutes les directions de l'espace.

Ce rayonnement diffus, lorsqu'il atteint le sol terrestre, semble ainsi provenir de l'ensemble des directions de la voûte céleste.

A la surface de la terre, le rayonnement solaire global est la somme des rayonnements :

- direct, ayant traversé l'atmosphère ;
- diffus, en provenance de toutes les directions de la voûte céleste.

Une surface exposée reçoit ainsi du rayonnement direct et diffus, mais elle reçoit en plus une partie du rayonnement global réfléchi par les objets environnants, en particulier par le sol, dont le coefficient de réflexion est appelé « albédo ».

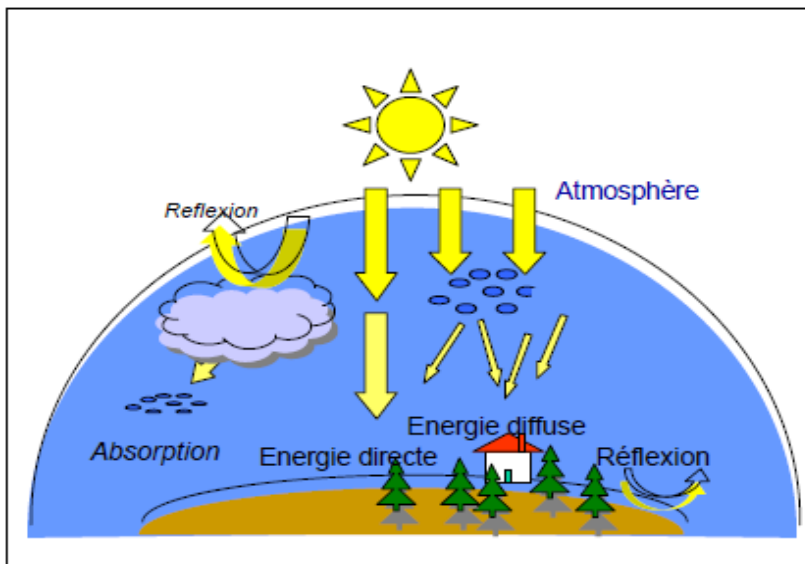


Figure1.1- Propagation du rayonnement solaire dans l'atmosphère terrestre .[1].

### I.2.2- Bilan de l'énergie solaire sur la terre :

Près du tiers (30%) de la quantité totale du rayonnement solaire est réfléchi dans l'espace, 47% est absorbé par la terre et son atmosphère, est transformée en chaleur. Une certaine quantité de chaleur retourne dans l'espace, mais la majeure partie est emprisonnée par notre atmosphère, qui agit comme une couverture isolante [2].

Cette capacité de rétention de chaleur dans l'atmosphère, ou « effet de serre », est due à la présence de gaz que l'on appelle « gaz à effet de serre ». Sans cette isolation, la température sur Terre atteindrait environ 33 °C de moins qu'actuellement, et il n'y aurait plus de vie possible.

Lorsque les concentrations de gaz à effet de serre varient, la capacité de l'atmosphère à emprisonner la chaleur change également. Finalement 0,59 % du rayonnement solaire se trouve sous forme de photosynthèse dans les plantes voir (figure.1.2)

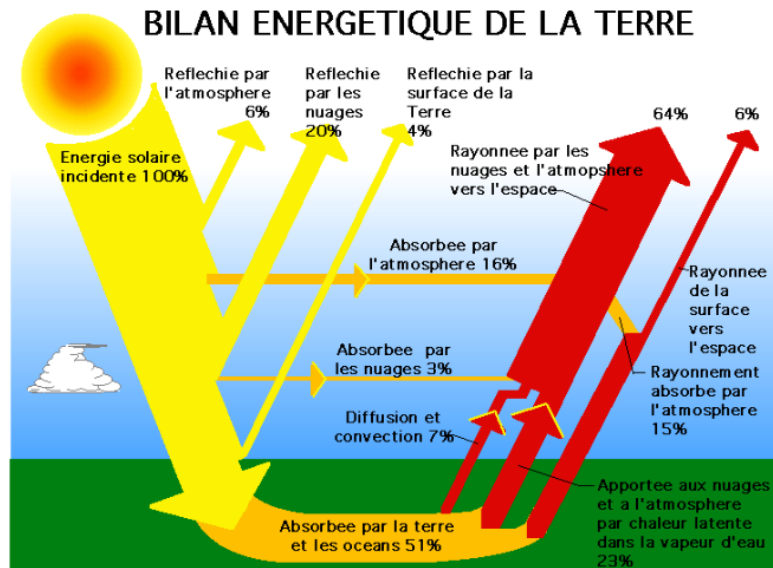


Figure 1.2 bilan de l'énergie solaire sur la terre.

### I.2.3- Captage du rayonnement solaire:

La récupération de l'énergie solaire est faite à l'aide de capteurs solaires.

Le rendement maximum de ce dernier est obtenu lorsque celui-ci est placé perpendiculairement au rayonnement solaire.

- Les capteurs à concentration, utilisés dans l'installation spécifiques <<Hautes températures>>, ils sont coûteux et nécessitent parfois un mécanisme de Mouvement asservi à un système de poursuite du soleil.
- Les capteurs plans, simple et moins onéreux. Ne nécessitent pas beaucoup d'entretien, ils sont utilisés pour les basses températures.

### I.2.4- Types de capteurs solaires plans:

On distingue trois types de capteurs solaires plans

#### I.2.4.1- Les capteurs sans vitrage ni isolation:

Ils sont utilisés pour la production d'eau chaude à basse température dans des conditions d'utilisation saisonnière (piscines, camping, etc.....) ces capteurs sont métalliques ou en

Matériaux polymères voir (figure 1.3). Ils se comportent comme des échangeurs de chaleur sur l'air ambiant. La température moyenne de fonctionnement : 25 à 40 °C environ. [3]

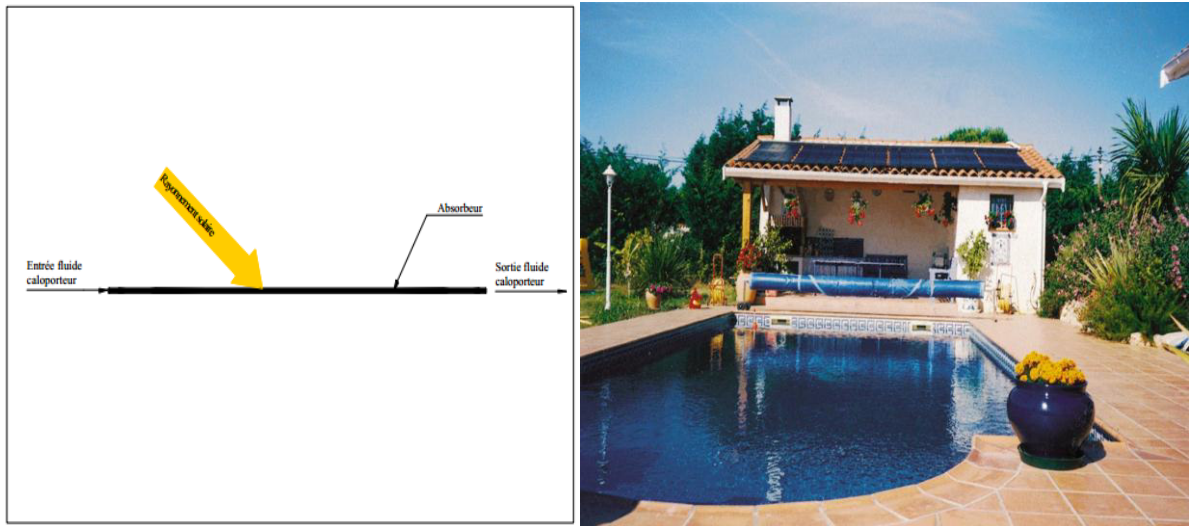


Figure 1.3 capteur sans vitrage. [3]

#### I.2.4.2- Les capteurs à hautes performances:

Ils sont utilisés pour les applications de climatisation de locaux, pendant la saison hivernale, ils peuvent servir aussi au chauffage. Ils sont constitués soit d'un revêtement sélectif voir (figure 1.5), réalisé par dépôt chimique ou par traitement électrochimique de la surface permettant de réduire les pertes dans le capteur, ou d'absorbeur sous vide dans laquelle un vide d'air à été fait. Température de fonctionnement : 50 à 100 °C environ. Voir (figure 1.4).

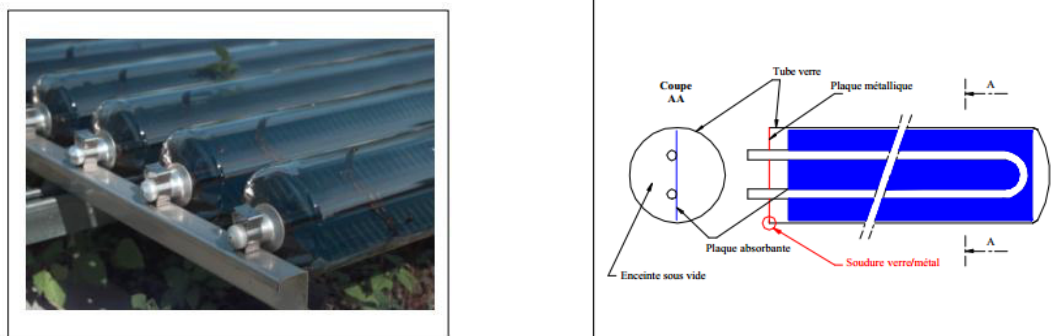


Figure 1.4 capteur sous vide . [3]

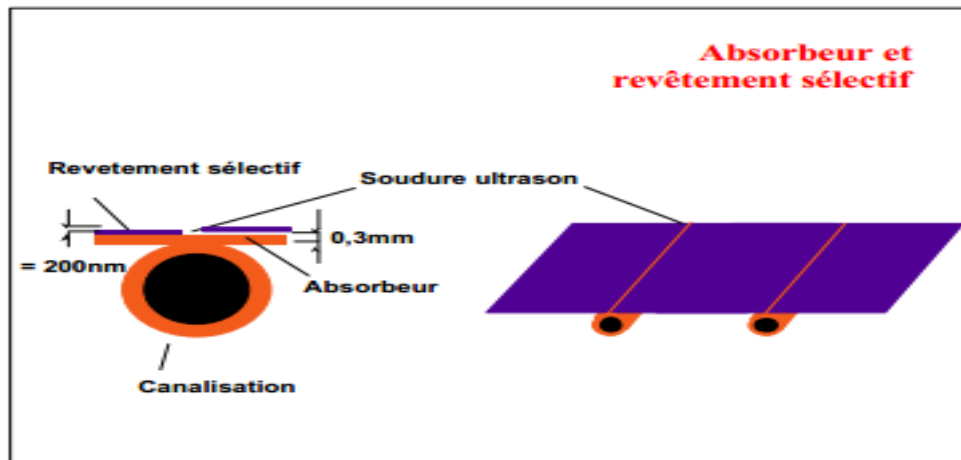


Figure 1.5 Absorbeur et revêtement sélectif. [3]

#### I.2.4.3- Les capteurs vitrés :

Ils sont utilisés pour la production d'eau chaude sanitaire sur toute l'année. Dans notre travail on s'intéressera à ce type de capteur.

#### I.3- PRODUCTION D'EAU CHAUDE PAR ENERGIE SOLAIRE:

Une installation de production d'eau chaude sanitaire par l'énergie solaire comporte en général 05 sous- ensemble : voir (figure 1.6)

- un sous- ensemble de captage,
- un sous- ensemble de transfert,
- un sous- ensemble de stockage,
- un sous- ensemble d'appoint,
- un sous- ensemble de distribution.

Les performances de l'installation dépendent du climat, du lieu d'implantation des capteurs solaires, du dimensionnement et de la conception du système, du choix des composants et de leur maintenance. Ainsi que de l'agencement optimale des sous systèmes, de manière à :

- optimiser le captage et le stockage de l'énergie solaire,
- dissocier l'énergie solaire et l'énergie d'appoint,
- consommer en priorité l'énergie solaire,
- conserver à l'énergie d'appoint un caractère de stricte complémentarité.

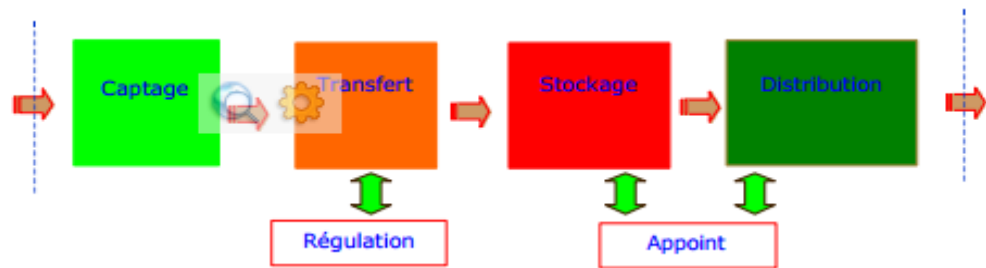


Figure 1.6- Schéma synoptique d'une installation de production d'eau chaude solaire

### I.3.1- Le captage :

Une installation de production d'eau chaude sanitaire par l'énergie solaire est généralement constituée de capteurs solaires plans à circulation de liquide qui effectuent la conversion du rayonnement électromagnétique calorifique émis par le soleil, en chaleur et permettent le transfert de cette énergie calorifique en la cédant à un fluide caloporteur [2].

### I.3.2- Principes de fonctionnement :

Un capteur solaire plan est essentiellement constitué d'une surface absorbante exposée au rayonnement solaire, qui échange avec un fluide caloporteur, les calories produites par absorption du rayonnement thermique de plus grande longueur d'onde (Loi de Stefan-Boltzmann).

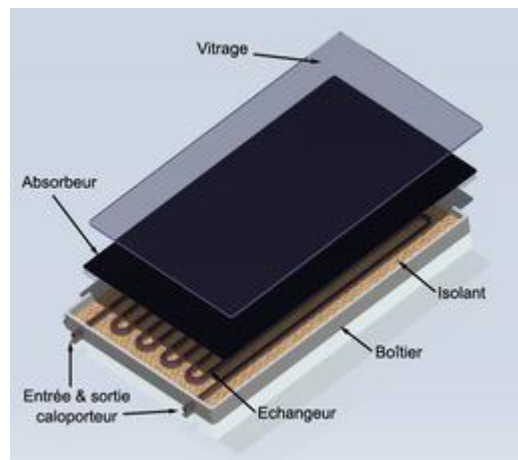
Si cet absorbeur est en contact direct avec l'aire environnant, en plus des pertes par rayonnement, les pertes par convection peuvent être importantes. Il s'établit alors un équilibre thermique entre l'absorbeur et le milieu ambiant [4]. On capte ainsi peu d'énergie. Pour réduire les pertes par la face arrière du capteur, l'absorbeur est placé à l'intérieur d'un coffre dont les parois internes sont recouvertes d'un isolant thermique (laine de verre ou mousse polyuréthane).

L'isolation thermique de la face avant est réalisée en interposant entre l'absorbeur et l'air (figure 1.7), un matériau opaque au rayonnement thermique, mais transparent au rayonnement solaire.

Les verres et certains matériaux synthétiques sont transparents pour les rayonnements solaires, et opaques pour le rayonnement infrarouge lointain. Ils sont donc utilisés en tant que ouvertures transparentes des capteurs solaires.



Dans un capteur équipé d'une couverture transparente, le rayonnement thermique émis par l'absorbeur est absorbé par la couverture transparente qui s'échauffe et rayonne à son tour par les deux faces. En première approximation, on peut considérer qu'une moitié du rayonnement se disperse dans le milieu extérieur et que l'autre moitié, réémise vers l'absorbeur est à l'origine de l'effet de serre.



**Figure 1.7- Capteur plan vitré. [1]**

Les couvertures ont également pour rôle de limiter les pertes par convection, étant donné que les échanges thermiques entre deux plaques séparées par une lame d'air immobile (figure 1.8), se font essentiellement par conduction et qu'il est connu que l'air immobile est un bon isolant thermique [5].

Cet effet d'isolation croît avec l'épaisseur de la lame d'air séparant les deux surfaces, tant que le phénomène de transfert reste conductif (2 à 3cm d'épaisseur). Au-delà, les effets de la convection naturelle viennent contrarier l'effet recherché.

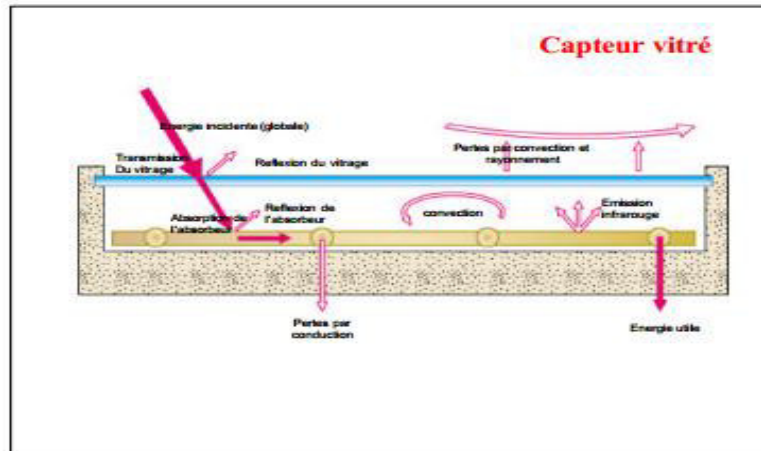


Figure 1.8- Capteur vitré et les pertes thermiques. [3]

### I.3.3- Le transfert de l'énergie et le stockage:

#### I.3.3.1- Le transfert de l'énergie:

Le transfert de chaleur des capteurs vers le ballon s'effectue de deux façons différentes :

- Par circulation forcée avec une pompe commandée par un dispositif de régulation,
- Par circulation naturelle ou thermosiphon : veut dire que la circulation de la chaleur passe des capteurs au ballon de stockage naturellement sans pompe ni autre dispositif, grâce à la différence de température.

En effet, quand l'eau (ou un autre fluide caloporteur) est chauffée par le soleil dans les capteurs, elle se dilate et étant plus légère que l'eau froide à volume égal, elle monte. Ainsi, elle crée un mouvement dans le circuit hydraulique reliant les capteurs au ballon de stockage [2]. (chauffe- eau solaire individuel à thermosiphon), dans notre travail on utilise ce type de chauffe- eau voir (figure 1.9).



Figure 1.9- Chauffe- eau solaire individuel à thermosiphon. [17]

### I.3.3.2- Le stockage

Afin d'assurer le fonctionnement d'un chauffe-eau solaire, il est nécessaire de pouvoir stocker l'eau chaude dans un réservoir, ceci afin de pouvoir l'utiliser pendant la nuit, ou pendant les journées sans soleil. Le ballon de stockage doit être calorifugé. Le calorifugeage devra être disposé de façon à permettre la manœuvre et le démontage pour l'entretien des appareils voir (figure 1.10).

Le stockage de l'énergie captée permet de pallier le caractère discontinu de l'énergie solaire. L'accumulation de l'énergie dans le stockage se traduit par une élévation de sa température. Pour apprécier l'efficacité d'un système de stockage, il faut rappeler que le rendement d'un capteur dépend essentiellement de la température moyenne du fluide qui le traverse, donc de la température du fluide au retour du stockage. L'une des caractéristiques essentielles de l'aptitude à l'emploi du stockage sera de fournir, à l'entrée des capteurs, un fluide dont la température sera la plus basse possible

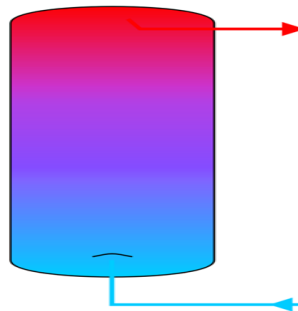


Figure 1.10- Ballon de stockage. [17]

### I.3.4- Les échangeurs de chaleur :

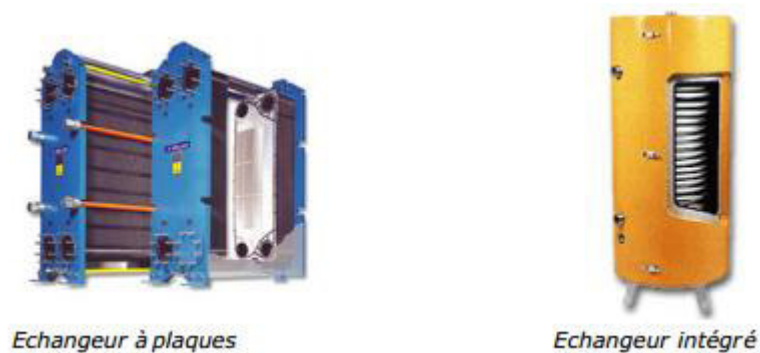
Il est nécessaire de protéger les équipements solaires contre les risques de gel pendant la saison hivernal. Dans la plupart des cas, les capteurs sont protégés par un fluide non gélif, ce qui implique la présence d'un échangeur, (figure 1.11). On distingue deux catégories d'échangeurs :

- Les échangeurs extérieurs au stockage.
- Les échangeurs intégrés au stockage.

Dans le cas où l'échangeur est situé à l'extérieur du stockage, l'échangeur se fait de part et d'autre par convection forcée. Les surfaces d'échanges sont en général réduites par rapport à un échangeur intégré.

Dans tous les cas, l'efficacité d'un échangeur ne dépend pas de la température des fluides mais des caractéristiques géométriques de l'échangeur et des débits calorifiques [3].

Dans la pratique, l'efficacité des échangeurs est de l'ordre de 0.6 à 0.8, Notons que si l'efficacité d'un échangeur est médiocre, non seulement le transfert de chaleur sera faible, mais la température de retour du fluide dans le capteur sera élevée et le rendement du capteur sera diminué.



**Figure 1.11- Les échangeurs de chaleur. [3]**

Lorsque l'échangeur est incorporé au stockage, il est disposé en partie basse du ballon. Cette disposition permet, à condition que la surface d'échange soit suffisante, de réchauffer de manière homogène le volume d'eau baignant l'échangeur, tant que la température de celui-ci n'aura pas atteint 3 ou 4 degrés la température de la partie supérieure du ballon.

A chaque introduction d'eau froide dans le stockage au moment des soutirages, on va éviter ainsi d'envoyer dans la partie haute du ballon de l'eau insuffisamment réchauffée (Stratification des températures).

Cette disposition permet de plus, d'alimenter les capteurs solaires avec un fluide dont la température en sortie de l'échangeur est la plus faible possible compte tenu des conditions de

Soutirage et de la stratification des températures. En outre, elle permet de limiter les risques de pertes fonctionnement du clapet anti- retour.

### **I.3.5- L'appoint :**

Une installation de chauffage d'eau solaire est toujours accompagnée d'un chauffage d'appoint lorsque la température désirée de l'eau dans la partie supérieure du ballon de stockage solaire n'est pas atteinte. Un dispositif d'appoint pour fournir de l'eau chaude supplémentaire doit être prévu.

Ce chauffage ne peut se faire que dans une autre cuve qu'on n'appelle cuve d'appoint [6]. Ainsi, en tout temps, l'appoint permet de garantir une eau à la température voulue, quel que soit l'ensoleillement et la quantité d'eau chaude consommée. Cependant l'isolation de la cuve de stockage est importante pour minimiser le recours à l'appoint. La source d'énergie d'appoint peut être le gaz, l'électricité, le fuel, selon le besoin et la disponibilité.

### **I.4- CARACTERISTIQUES D'UN CAPTEUR SOLAIRE PLAN:**

En régime permanent de fonctionnement, on obtient l'équation caractéristique d'un capteur solaire plan en écrivant son bilan énergétique global [1].

$$Q_u = Q_a - Q_p$$

#### **Expression dans laquelle :**

- $Q_u$  est la puissance cédée au fluide caloporteur,
- $Q_a$  est la puissance solaire absorbée,
- $Q_p$  est la puissance correspondant aux pertes thermique.

Pour évaluer l'énergie absorbée par le capteur, il faut théoriquement distinguer dans l'énergie incidente, les parts du rayonnement direct et du rayonnement diffus, en les affectant de coefficients de transmission et d'absorption appropriés.

Toutefois dans la pratique, on considère la composante normale au plan du capteur, du rayonnement solaire globale incident.

Dans ces conditions, la puissance absorbée, en Watts, est donnée par l'expression :

$$Q_a = A \cdot \tau_s \cdot \alpha_s \cdot G$$

Dans laquelle :

- A est la surface d'entrée du capteur en m<sup>2</sup>,
- $\tau_s$  et  $\alpha_s$  sont les valeurs moyennes des coefficients de transmission de la couverture transparente et d'absorption de l'absorbeur sur l'ensemble du spectre solaire,
- G est l'éclairement énergétique globale en W/m<sup>2</sup> (de surface d'entrée), mesuré dans le plan du capteur.

Compte tenu de l'épaisseur relativement faible d'un capteur plan, on peut, en première approximation, négliger les pertes par les parois latérales et ne considérer que les pertes par les faces avant et arrière. La puissance correspondant est alors :

$$Q_p = Q_{AV} + Q_{AR}$$

Ramenées à l'unité de surface de l'absorbeur, toutes les pertes, qui sont des flux thermique du capteur vers l'extérieur, peuvent être exprimées en fonction de la différence de température qui les provoque, par :

$$Q_{AV} / A = U_{AV} (T_m - T_a) \text{ et } Q_{AR} / A = U_{AR} (T_m - T_a)$$

Soit :

$$Q_{AV} / A = U_{AV} (T_m - T_a)$$

Avec :

$$U = U_{AV} + U_{AR}$$

U<sub>AV</sub> : coefficient de déperditions thermiques par la face avant (W / m<sup>2</sup>.K)

U<sub>AR</sub> : coefficient de déperditions thermiques par la face arrière (W / m<sup>2</sup>.K)

T<sub>m</sub> : température moyenne de l'absorbeur

T<sub>a</sub> : température ambiante moyenne

L'équilibre thermique à un instant donné, entre le flux énergétique solaire reçu par le capteur, et le flux d'énergie utile que l'on peut en extraire et ses pertes thermiques propres, permet d'écrire l'expression suivante du rendement instantané :

$$\eta = \frac{\eta_0 - Y(T_m - T_a)}{\tau}$$

Selon les principes retenus par la normalisation internationale (ISO) et européenne (CEN), le rendement d'un capteur plan peut être caractérisé par trois coefficients indépendants de la température.

$$\eta = \eta_0 - a_1 \cdot T^* - a_2 \cdot (T^*)^2$$

$\eta_0$  : Coefficient de conversion optique (%).

$a_1$  : Coefficient de déperdition thermique par conduction (W/m<sup>2</sup>.K).

$a_2$  : Coefficient de déperdition thermique par convection (W/m<sup>2</sup>.K).

La figure suivante présente les variations du rendement instantané en fonction de la température réduite ( $T^* = T_m - T_a$ ) pour plusieurs types de capteurs.

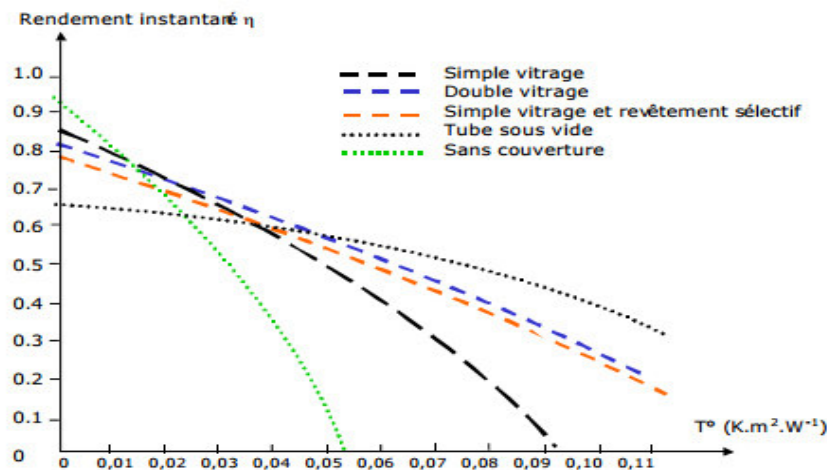


Figure 1.12- Les variations du Rendement instantané en fonction de la température réduite ( $T^*/G$ ) du capteur solaire. [1]

Pour des valeurs de  $T^*/G$  inférieures à 0.07, on peut raisonnablement représenter ces variations par des relations linéaires. Le rendement s'écrit alors :

$$\eta = \eta' - a' \cdot T$$

Les coefficients  $\eta'$  et  $a'$  sont nommés respectivement (selon les normes françaises

Facteur optique du capteur (B)

Conductance thermique totale de pertes (K)

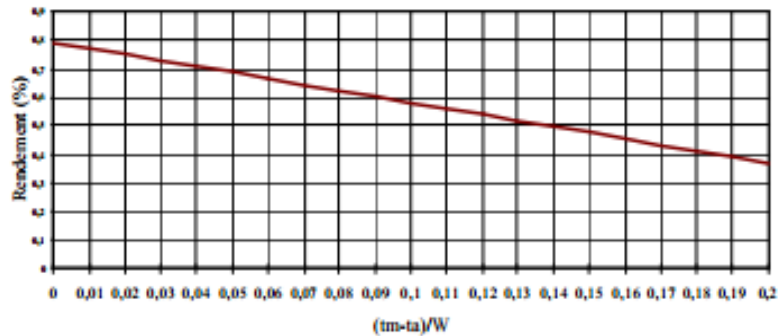


Figure 1.13- Rendement d'un capteur solaire ( $\eta$  % /  $(t_m - t_a) / w$ ).

### Conclusion

Les installations solaires peuvent être utilisées dans tous les climats pour produire l'eau chaude. Mais leurs performances annuelles sont proportionnelles à l'ensoleillement du lieu où sont installés les capteurs solaires.

Le choix entre les types de capteur solaire est déterminé par le type d'application recherchée, la fiabilité, le prix et les températures souhaitées.

Pour la production d'eau chaude sanitaire on choisit généralement les capteurs plans avec vitrage.



## II.1 INTRODUCTION. [1]

Le point de départ pour le dimensionnement d'une installation solaire de production d'eau chaude sanitaire (ECS) est le besoin en eau chaude solaire. Il est donc primordial d'estimer correctement ce besoin.

Autres facteurs tels que la situation géographique, la surface disponible pour l'installation solaire, l'orientation et l'inclinaison des capteurs, le budget, etc. joueront également un rôle important. Un bon dimensionnement doit conduire à produire un maximum d'énergie d'origine solaire entre 50 et 80 % des besoins d'eau chaude sanitaire, entraînant une économie financière, et évitant le rejet de gaz à effet de serre dans l'atmosphère.

## II.2 ÉVALUATION DES PERFORMANCES D'UNE INSTALLATION SOLAIRE. [2]

### II.2.1. La production énergétique instantanée d'un capteur solaire :

La production énergétique instantanée d'un capteur solaire peut être définie par une équation caractéristique simple dans laquelle le capteur est caractérisé par sa surface et par deux coefficients caractéristiques. Cette équation admet différentes formes suivantes :

- La température de fluide qui sert de référence. En Algérie, on utilise la température moyenne du fluide dans le capteur. Au niveau de la normalisation internationale, on utilise plutôt la température d'entrée du fluide.

On a ainsi les deux écritures :

$$P_u = S (B I - K (T_{fm} - T_e)) \quad (II.1)$$

Ou :

$$P_u = S (F\tau\alpha I - FrU_l (T_{fe} - T_e)) \quad (II.2)$$

Avec :

$P_u$  : puissance utile (W)

$I$  : flux de rayonnement disponible sur le plan des capteurs ( $W/m^2$ )

$T_e$  : température ambiante ( $^{\circ}C$ )

$T_{fe}$  : température d'entrée du fluide dans les capteurs ( $^{\circ}C$ )

$T_{fm}$  : température moyenne du fluide dans les capteurs ( $^{\circ}C$ )

$S$  : surface des capteurs ( $m^2$ )

$B, F\tau\alpha$  : coefficient caractéristique des gains du capteur (-)

$K, FrU_l$  : coefficient caractéristique des pertes du capteur ( $W/m^2 \cdot ^{\circ}C$ )

Le coefficient B est généralement compris entre 0,7 et 0,8 pour les capteurs plans, entre 0,5 et 0,8 pour les capteurs sous vide (à incidence normale).

Le coefficient K est généralement compris entre 4 et 10 W/m<sup>2</sup>/°C pour les capteurs plans, entre 1,5 et 3 W/m<sup>2</sup>/°C pour les capteurs sous vide.

### II.2.2. Interaction entre système, état du système et production :

La présence d'un stock évite les surplus temporaires de production mais n'élimine pas toute influence des variations des apports solaires et de la consommation.

En effet, dans l'équation fondamentale ci dessus, les termes S.K. (T<sub>fm</sub>-T<sub>e</sub>) dans (II.1) ou FrU1 (T<sub>fe</sub>-T<sub>e</sub>) dans (II.2) caractérisent les pertes thermiques du capteur. Ils sont proportionnels à la différence de température entre le fluide interne et l'air ambiant.

Les performances d'un capteur dépendent donc fortement de la température du fluide dans le capteur. Considérons par exemple un capteur de 1 m<sup>2</sup> de caractéristiques (B = 0,759 ; K = 4.2W/m<sup>2</sup>/°C) soumis à un flux de rayonnement élevé de 1 000W/m<sup>2</sup> et à une température extérieure de 25°C. La puissance instantanée fournie par ce capteur sera, en fonction de la valeur de T<sub>fm</sub> :

- T<sub>fm</sub> = 25°C (T<sub>fe</sub> = 17°C) Pu1 = 0,759 x 1000 - 4.2 x (25-25) = 759 W
- T<sub>fm</sub> = 45°C (T<sub>fe</sub> = 38°C) Pu2 = 0,759 x 1000 - 4.2 x (45-25) = 675 W
- T<sub>fm</sub> = 65°C (T<sub>fe</sub> = 49°C) Pu3 = 0,759 x 1000 - 4.2 x (65-25) = 591 W (Pu1- 25%)

Or, en présence d'un stock, la température d'entrée T<sub>fe</sub> est une inconnue du système. Si on a un stock à température uniforme TS et pas d'échangeur, on a : T<sub>fe</sub> = TS - ε. (ε représente le refroidissement du fluide dans le circuit entre stock et capteur).

Même dans ce cas simple, T<sub>fe</sub> varie en permanence car TS varie en fonction des apports solaire et du puisage d'eau chaude. La stratification éventuelle du stock, la présence d'un échangeur, la régulation des pompes de circulation ont aussi une influence sur T<sub>fe</sub> donc sur la puissance utile Pu à l'instant t qui dépend donc :

- Des caractéristiques des capteurs,
- Des autres paramètres du système : schéma, échangeur, stock, régulation,
- Du profil des apports solaires,
- Du profil de puisage.

### II.2.3. Le taux de couverture solaire : [3]

C'est un pourcentage d'énergie solaire qui couvre les besoins de chauffage d'eau chaude sanitaire ou/et de chauffage des locaux. La couverture solaire par exemple de 60% d'un CESI (Chauffe- Eau Solaire Individuel) désigne que l'installation solaire couvre 60% des besoins annuels d'eau chaude sanitaire de l'habitation.

Le taux de couverture solaire est le rapport entre l'énergie fournie par la partie solaire d'une installation et la fourniture totale de l'installation

**Couverture Solaire** = production solaire / besoins (II.3)

La couverture solaire dépend directement du lieu d'exposition et du dimensionnement de l'installation solaire, soit la surface des capteurs solaires et la capacité du ballon solaire

### II.2.4. la productivité des capteurs solaires :

La productivité est définie comme étant le rapport entre l'énergie solaire utile sur la surface des capteurs. Il est montré que plus le taux de couverture solaire est élevé, plus la productivité des capteurs est faible. Et plus la surface des capteurs est grande plus la productivité est faible.

Productivité = Energie solaire utile / surface des capteurs [kWh /m<sup>2</sup>.an]

## II.3. RECUEIL DES DONNEES NECESSAIRES. [2]

### II.3.1. Données nécessaires concernant les besoins en eau chaude ce sont :

- La température de consigne de l'eau chaude supposée constante sur l'année,
- La consommation journalière en moyenne mensuelle.

Une bonne connaissance des besoins en eau chaude est indispensable. En particulier, toute surévaluation des besoins risque de conduire à un surdimensionnement de l'installation gravement préjudiciable à sa productivité, et donc à sa rentabilité, puisque, comme on l'a vu, la productivité des capteurs diminue lorsque le taux de couverture solaire augmente.

### II.3.2. Les données météorologiques nécessaires sont :

- La température moyenne mensuelle,
- Le rayonnement global journalier dans le plan horizontal en moyenne mensuelle,
- La température d'eau froide en moyenne mensuelle.

On peut calculer une valeur approchée de la température d'eau froide  $T_{ef}$  pour le mois  $i$  à partir des valeurs de la température extérieure par la formule suivante :

$$T_{ef}(i) = (T_e(i) + T_{em})/2 \quad (II.4)$$

Dans laquelle  $T_e(i)$  et  $T_{em}$  sont les températures extérieures mensuelle (mois  $i$ ) et annuelle.

On peut calculer une valeur approchée du rayonnement global horizontal journalier à partir du nombre d'heures d'ensoleillement journalier.

Pour le mois  $i$ , on a :

$$RGJ(i) = RJE(i) \times (0,19 + 0,62 \cdot HI(i)/DJ(i)) \quad (II.5)$$

$RJE(i)$  : rayonnement journalier extraterrestre sur le site pour le mois  $i$ ,

$HI(i)$  : nombre d'heures moyen d'ensoleillement journalier pour le mois  $i$ ,

$DJ(i)$  : durée moyenne du jour sur le site pour le mois  $i$ .

$RJE$  et  $DJ$  ne dépendent que de la latitude et du mois. Ils sont calculables par des équations astronomiques simples ou peuvent être trouvés dans des tables

### II.4. CHOIX DU SCHEMA DE PRINCIPE DE L'INSTALLATION. [2]

Ce choix doit se faire parmi les 5 schémas simples reconnus par SOLO. L'éventail est suffisant car les schémas plus complexes sont rarement efficaces en pratique en raison de problèmes de régulation et de fiabilité.

Tous ces schémas comportent un appoint en série sur la sortie du système solaire. Deux critères les différencient :

- la présence et la nature d'un échangeur éventuel entre capteur et stock,
- le moteur de la circulation du circuit capteur : thermosiphon ou pompe.

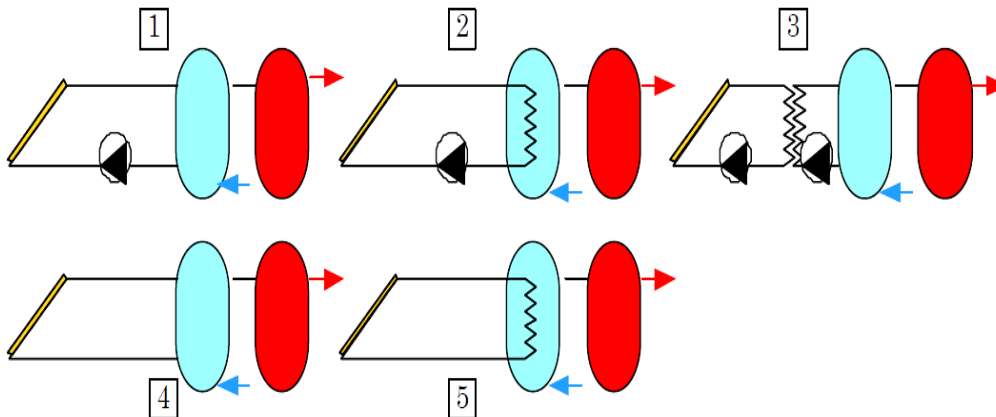


Figure 2.1- Schémas de principe reconnus par SOLO. [8]

Schéma 1 - Circuit capteurs-ballon : direct ; circulation : forcée

Schéma 2 - Circuit capteurs-ballon : échangeur interne; circulation : forcée, 1 pompe

Schéma 3 - Circuit capteurs-ballon : échangeur externe; circulation : forcée, 2 pompes

Schéma 4 - Circuit capteurs-ballon : direct ; circulation: thermosiphon

Schéma 5 - Circuit capteurs-ballon : échangeur interne; circulation : thermosiphon

## II.5. DIMENSIONNEMENT DE L'INSTALLATION. [2]

### II.5.1. Dimensionnement des capteurs solaires :

- **La surface des capteurs A:** est la variable essentielle car elle conditionne le coût et la production utile de l'installation.

Le dimensionnement de A est fait sur la base du volume d'eau chaude consommé quotidiennement  $V_j$ .  
On définit  $A_0$  de façon à avoir un ratio  $V_j/A_0$  égal à 60 litres/ m<sup>2</sup>. [7]

**Exemple :** pour une consommation de 270 litres/jour =>  $A_0 = V_j/60 = 270/60$  soit 4.5 m<sup>2</sup>=>  $A_0 = 4$  m<sup>2</sup>

- Définition de la plage de variation autorisée ( $A_0 - 50$  %,  $A_0 + 50$  %)

**Choix de l'inclinaison :** Il dépend essentiellement de deux paramètres : la latitude et la saisonnalité des besoins.

**Exemple :** à Alger l'inclinaison est égale à la latitude de lieu qui est 36.7°

### II.5.2. Dimensionnement du stock:

Le volume des ballons de stockage est déterminé en fonction de la consommation journalière :

$$V_{s0} = \max (V_{ja}, V_{jété}) \quad (II.6)$$

Avec :

- $V_{ja}$  : consommation moyenne journalière sur la période de fonctionnement.
- $V_{j\acute{e}t\acute{e}}$  : consommation moyenne journalière sur la période Mai-Août.

On veillera à tenir compte, prioritairement de la consommation d'été, car le stockage à autres fonctions, de limiter les surplus temporaires de production qui sont plus probables en été.

La plage autorisée est définie de manière similaire à la plage autorisée pour le dimensionnement de la surface de capteurs : [7]

$$[V_{SMin}, V_{SMax}] = [VS0-50\%, VS0+50\%]$$

Soit pour notre exemple : [100 L, 300 L].

### II.5.3 Dimensionnement de l'appoint électrique:

Le dimensionnement de l'appoint vis à assurer :

- Le service en eau chaude en toutes circonstances.

La puissance de résistance électrique doit être comprise entre 10 et 15w/litre du volume d'appoint ( $V_{ap}$ ) chauffé par l'électricité, la valeur nominale étant de 12w/litre. Le volume d'appoint est délimité par le haut du ballon et le bas de la résistance électrique . Si la résistance électrique est placée au centre du ballon, le volume  $V_{ap}$  correspondra à la moitié du volume nominal du ballon.

#### ➤ Besoins journaliers et annuels d'une habitation en kWh

Le besoin énergétique moyen journalier  $B_j$  (kWh/j) et le besoin annuel BA (kWh/an) s'écrivent en fonction de  $V_j$  et  $\Delta T$ , sachant que la capacité calorifique massique de l'eau est de 1,16 Wh/litre/°C :

$$B_j = C_p \cdot V_j \cdot \Delta T = 1,16 \cdot V_j \cdot \Delta T / 1000 \quad (II.8)$$

Et :

$$BA = 365 B_j = 0,423 \cdot V_j \cdot \Delta T \quad (II.9)$$

$V_j$  : consommation journalière d'eau chaude (litres/j)

$\Delta T$  : échauffement moyen de l'eau :  $T_{ec} - T_{ef} = T_{ec} - T_e$  (°C)

$T_{ec}$  : température de consigne d'eau chaude (°C)

$T_{ef}$  : température moyenne d'eau froide, supposée égale à  $T_e$  (°C)

$T_e$  : température extérieure moyenne du site (°C)

➤ **La production solaire et la productivité**

La production solaire annuelle  $E$  (kWh/an) et la productivité annuelle  $E1$  (kWh/m<sup>2</sup>/an) du système s'écrivent :

$$E = CS.B = Sc.R.I1 \quad (II.10)$$

$$E1 = R.I1 = B.CS/Sc \quad (II.11)$$

La production solaire moyenne journalière  $Ej$  (kWh/j) et la productivité moyenne journalière  $E1j$  (kWh/m<sup>2</sup>/j) s'écrivent :

$$Ej = CS.Bj = Sc.R.I1j \quad (II.12)$$

$$E1j = R.I1j = Bj.CS/Sc \quad (II.13)$$

➤ Ratios qui caractérisent le dimensionnement de l'installation

$$R / CS = (Bj / I1j) / Sc \quad (III.14)$$

Ou encore :

$$R / CS = (1, 16.Vj.\Delta T/I1j) / Sc / 1000 \quad (II.15)$$

On constate que  $R / CS$  et  $Vj / Sc$  sont proportionnels de rapport  $k$  :

$$k = (R / CS) / (Vj / Sc) = (1, 16.\Delta T) / I1j / 1000 \quad (II.16)$$

De la même manière, les ratios  $E1j / CS$  et  $Vj / Sc$  sont proportionnels de rapport  $k'$  :

$$K' = (E1j / CS) / (Vj / Sc) = 1,16.\Delta T / 1000 \quad (II.17)$$

Et les ratios  $E1 / CS$  et  $Vj / Sc$  sont proportionnels de rapport  $k''$  :

$$K'' = (E1 / CS) / (Vj / Sc) = 0,423.\Delta T \quad (II.18)$$

Car

$$E1 = 365 E1j \quad (II.19)$$

Les ratios  $k$ ,  $k'$ ,  $k''$  dépendent fortement des besoins et du site, ce qui ne fait que traduire les différences sensibles de performances des systèmes solaires suivant les sites et les besoins.

#### II.5.4. Dimensionnement de l'isolant thermique du ballon. [2]

Les caractéristiques de l'isolant thermique du ballon doivent être telles que la constante de refroidissement du ballon équivalent soit inférieure ou égale à la valeur :  $Cr \leq 4.2 V-0.45$

Où V est le volume du ballon équivalent exprimé en litres.

La constante de refroidissement du ballon équivalent se calcule de la manière Suivante :

$$CR = \frac{24}{V_b} \left( 1.1 + \frac{0.05}{V_b} \right) \times h \times S_b \text{ avec } \frac{1}{h} = \frac{1}{10} + \frac{e_{iso}}{k_{iso}} \quad (II.20)$$

Avec :

$V_b$  : volume du ballon (m<sup>3</sup>) ;

$S_b$  : surface extérieure du ballon (m<sup>2</sup>)

$e_{iso}$  : épaisseur de l'isolant (m) ;

$k_{iso}$  : conductivité de l'isolant (W/m.K)

#### L'épaisseur e de l'isolant :

La quantité de chaleur à travers l'isolation est donnée par la relation :

$$Q = \frac{2\pi \times \lambda \times L_0 \times (T_i - T_e)}{\log\left(\frac{r_e}{r_i}\right)}$$

Posons :  $r_e = r_i + e$

Devient :

$$Q = \frac{2\pi \times \lambda \times L_0 \times (T_i - T_e)}{\log\left(1 + \frac{e}{r_i}\right)}$$

D'où

$$e = r_i \cdot \left( \exp\left(\frac{2\pi \times \lambda \times L_0 \times (T_i - T_e)}{Q}\right) - 1 \right)$$

Nous supposons que  $T_e = 20^\circ\text{C}$ ,  $L_0 = 1,2$  m et que l'isolant est le polystyrène expansé thermo comprimé ( $\lambda = 0,029$  W/m. °C).

On a:

$$v = 0.001 \times \pi \times r^2 \times L_0$$

$$\Rightarrow r_i = \sqrt{\frac{v}{0.001 \times \pi \times L_0}}$$

$$r_i = 257 \text{ mm}$$

En mettant, ces valeurs numériques dans l'équation précédente on obtient :

$$e = 49.7 \text{ mm} \approx 5 \text{ cm}$$



### II.5.5. Dimensionnement de la canalisation. [4]

Les canalisations sont dimensionnées, en fonction des paramètres suivants [1] :

- Débits de fluide
- Pertes de charge admissibles

Calcul manuel par la formule approchée

$$D_i = 33,3 \times (Q'' / (\rho \times \pi)) \quad (\text{III.21})$$

Avec :

$D_i$  = diamètre intérieur (mm)

$Q''$  = débit nominal (l/h)

$\rho$  = masse volumique du fluide (kg/m<sup>3</sup>)

### II.5.6. Dimensionnement de l'échangeur [2]

La présence d'un échangeur entraîne une baisse du rendement global du système car elle provoque une augmentation de la température de l'eau dans les capteurs, et donc une augmentation des pertes thermiques des capteurs.

On peut évaluer la puissance utile  $P_u$  en sortie d'un système pour un système sans échangeur capteur : c

- capteur : caractéristiques  $B = 0,8$  ;  $K = 5 \text{ W/m}^2/\text{°C}$ ,
- pertes des circuits primaires et secondaires négligeables,
- puissance incidente :  $I = 1000 \text{ W/m}^2$  et température extérieure =  $20\text{°C}$ ,
- température moyenne de l'eau dans le capteur :  $T_m = 60\text{°C}$ ,

Sans échangeur : Température à l'entrée du stock  $T_{Ua} = T_{SCa}$  (sortie capteur)

$$P_{ua} = B I - K (T_{ma} - T_{ext}) = 0,8 \times 1000 - 5 (60 - 20) = 600 \text{ W/m}^2$$

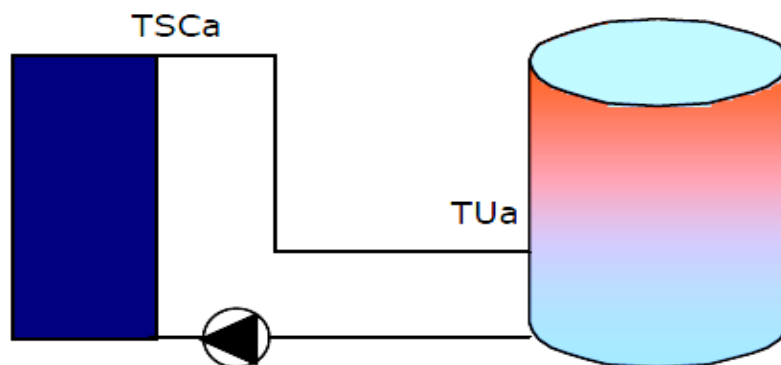


Figure 2-2-Ballon sans échangeur

### **II.5.7. Dimensionnement de l'appoint. [5]**

Le dimensionnement de l'appoint vise à assurer :

- le service en eau chaude en toutes circonstances. C'est un problème classique qui nécessite surtout une bonne évaluation des besoins,
- la meilleure répartition possible entre solaire et appoint.

Lorsque le fonctionnement de l'appoint est asservi aux heures creuses tarifaires de nuit, il est important de disposer d'un volume du ballon supérieur aux besoins maximum journaliers. Ainsi le maintien à une température supérieure à 60°C à la sortie du ballon est possible à condition d'avoir préalablement réglé le thermostat de l'appoint à 65°C.

En revanche pendant les périodes d'hiver et de mi-saison, lors de puisages très importants, il subsistera le risque de distribuer une eau qui a été stockée dans le ballon solaire à des températures inférieures à 60°C. Le ballon de stockage est divisé horizontalement en 10 couches de même hauteur. Le repérage de la position de l'auxiliaire d'appoint s'effectue par rapport à ce système de couche. Par exemple, supposons un ballon ayant une hauteur de 2m. Chaque couche aura alors une hauteur de 20cm, si là l'échangeur d'appoint est placé à 30cm, alors l'utilisateur doit indiquer que l'auxiliaire d'appoint est dans la couche 2.

### **II.6. APPLICATION DE LA METHODE DE CALCUL. [6]**

Nous allons utiliser le logiciel SOLO pour le calcul des performances de l'installation de production d'eau chaude solaire individuel qui se trouve au CDER

#### **II.6.1 Condition d'un bon dimensionnement:**

Une bonne connaissance des besoins des en eau chaude sanitaire est indispensable car un surdimensionnement provoque la diminution du rendement de l'installation.

#### **II.6.1 Paramètre de calcul :**

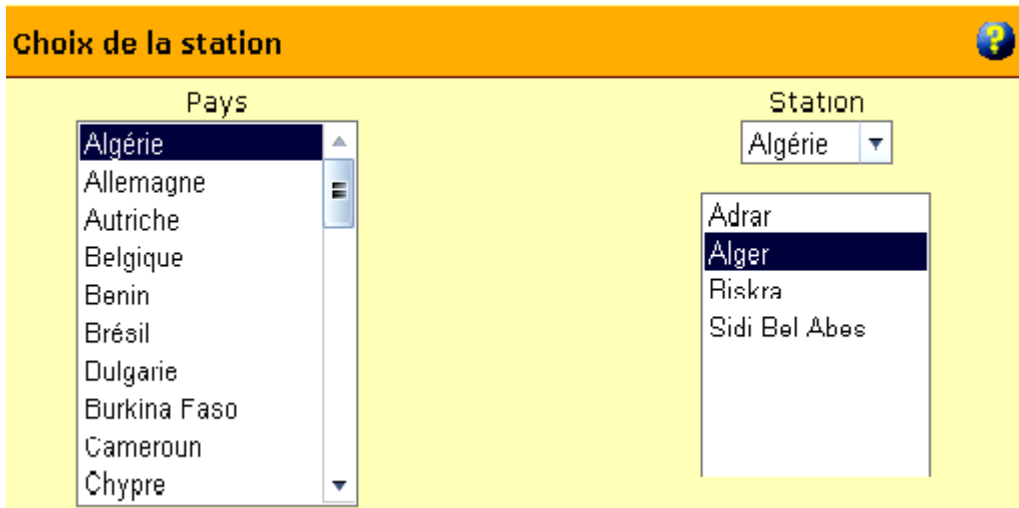
Les paramètres nécessaires d'introduire dans le calcul sont :

1. le climat
2. les besoins en eau chaude
3. le ballon de stockage
4. constante de refroidissement
5. la surface du capteur solaire

- **le climat**

Pour le climat nous avons choisi :

- pays : Algérie
- station : Alger
- la latitude :  $36^{\circ}7$



- **Les besoins en eau chaude**

On doit connaître la consommation moyenne d'eau chaude sanitaire en litres/jour, soit en moyenne annuelle, soit en moyenne mensuelle en cas de variations saisonnières.

Dans notre cas nous avons choisi :

- La consommation moyenne annuelle 200 l/jour.

## Consommation

Calcul de la consommation annuelle

Consommation: On doit connaître la consommation moyenne d'eau chaude sanitaire en litres/jour à 60°C, soit en moyenne annuelle, soit en moyenne mensuelle en cas de variations saisonnières.

Vous connaissez la consommation annuelle

Si vous n'avez aucune de ces valeurs, un guide expert la définira pour vous, à partir d'une description de votre bâtiment (hôtel, logement,...) et de son rythme d'utilisation. Il vous faudra évaluer son taux de remplissage moyen par mois.

Consommation annuelle  L/jour

Consommation moyenne mensuelle :

- **les ballons (solaire et appoint)**

Pour cette installation nous avons choisi les caractéristiques de ballon suivantes :

Situation par rapport à l'habitation : extérieur

Type de l'installation : thermosiphon sans échangeur

Volume de stockage total : 300 L

Nombre de ballons : 1

**Stockage**

Situation par rapport au bâtiment

Extérieur

Intérieur

Type installation



Thermosiphon sans échangeur

**Type d'installation:** Il est possible de choisir entre 5 types de systèmes :

- **Thermosiphon direct**  
Sans échangeur, réservé aux installations individuelles sans risque de gel. Le ballon est toujours près du capteur et au dessus.
- **Thermosiphon indirect**  
Avec échangeur, réservé aux installations individuelles lorsqu'il y a risque de gel. Le ballon est toujours près du capteur et au dessus.
- **Circulation forcée, sans échangeur**  
Permet de séparer capteurs et ballon. Réservé aux régions sans aucun risque de gel, et aux eaux ni corrosives ni entartrantes. Installations individuelles ou petits collectifs.
- **Circulation forcée, échangeur incorporé**  
Permet de séparer capteurs et ballon. Indispensable lorsqu'il existe un risque de gel, ou lorsque l'eau est corrosive. Installations individuelles ou petits collectifs.
- **Circulation forcée, échangeur séparé**  
Permet la meilleure souplesse d'installation et les meilleurs résultats. Obligatoire pour les grandes installations collectives.

Température de l'eau

°C

**Température de l'eau chaude:** Les besoins d'eau chaude sanitaire ont été calculés pour de l'eau à 60°C. C'est donc la température du volume d'eau qui sera consommé. Si vous connaissez vos besoins de manière précise, vous pouvez saisir ici une température différente, entre 30 et 80°C.

Volume de stockage total	<input type="text"/> Litres	<p><b>Volume de stockage total:</b> On le définit entre 50 et 120 % de la consommation journalière, avec un minimum de 50 litres par m<sup>2</sup> de capteurs. Lorsque le volume obtenu est important, on peut le diviser en plusieurs ballons plus petits.</p>
Nombre de ballons	<input type="text" value="1"/>	

• **Isolant**

La valeur de constante de refroidissement est obtenue par un essai normalisé, et indique les pertes caractéristiques du ballon. Elle est fournie par le fabricant en fonction de la nature de l'isolant.

Pour cette installation nous avons choisi les caractéristiques de l'isolant suivantes :

-Type d'isolant : polyuréthane

-Epaisseur de l'isolant : 5 cm

**Constante de refroidissement**

Vous connaissez sa valeur :

**Constante de refroidissement:** En France, cette valeur est obtenue par un essai normalisé, et indique les pertes caractéristiques du ballon. Elle est fournie par le fabricant. Si vous ne la connaissez pas, un calcul simple vous permet de l'évaluer, en fonction de la nature de l'isolant.

<p><b>non</b> <input type="radio"/></p>		<p><b>oui</b> <input type="radio"/></p>	
Type d'isolant	<input type="text" value="Polyuretane"/>	Constante de refroidissement	
Epaisseur de l'isolant	<input type="text"/> cm	<input type="text"/>	Wh/jour.l.°C

• **le capteur solaire**

Pour cette installation nous avons choisi les caractéristiques du capteur suivant :

- Modèle : JACQUES GIORDANO INDUSTRIES
- $K = 4.2 \text{ w/m}^2.k$
- $B = 0,759$
- Surface :  $4 \text{ m}^2$
- Nombre de capteurs : 2
- Orientation : peine sud
- L'inclinaison :  $40^\circ$

**Capteurs I** ?

Choisir un capteur i

Vous trouverez dans la rubrique "capteurs solaires" du menu ci-contre, des estimations des coefficients B et K que vous pourrez entre manuellement ci-dessous, pour certains capteurs ne figurant pas dans cette liste

Fabricant	JACQUES GIORDANO INDUSTRIES
Modèle	<div style="background-color: #000080; color: white; padding: 2px;">C8/11.SU</div> C8/11H.SU CS11 HI POLYTUB S

ou Entrer coefs Solo (CSTB)

ou Entrer coefs internationaux

B

K

W/m<sup>2</sup>.°C

Frta

FrUL

W/m<sup>2</sup>.°C

**Capteurs II**

<p>Inclinaison Capteur <input type="text"/> °/Horiz.</p>	<p><b><u>Inclinaison du capteur:</u></b> Pour une utilisation annuelle, la règle générale est la suivante : <math>Incl = Lat + 10^\circ</math> et on accroît l'inclinaison de <math>+ 15^\circ</math> pour un emploi essentiellement hivernal. Symétriquement, on réduit de <math>15^\circ</math> pour une utilisation d'été. Dans le Sud de la France, Nord de l'Espagne et de l'Italie, on obtient :          Utilisation annuelle : <math>incl = 45^\circ</math> sur l'horizontale          hiver : <math>incl = 60^\circ</math>          été : <math>incl = 30^\circ</math>.</p>						
<p>Orientation <input type="text"/> °/ <input type="text"/> Sud</p>	<p><b><u>Orientation du capteur:</u></b> L'orientation préférentielle est le Sud (pour une implantation dans l'hémisphère Nord), avec une tolérance possible d'environ <math>15^\circ</math> vers l'Est ou l'Ouest. Au delà, les baisses de performances peuvent devenir importantes.</p>						
<table border="1"> <tr> <td><input type="text"/></td> <td><input type="text"/></td> </tr> <tr> <td>Surface Utile</td> <td><input type="text"/> m<sup>2</sup></td> </tr> <tr> <td>Nbre de capteurs</td> <td><input type="text"/></td> </tr> </table>		<input type="text"/>	<input type="text"/>	Surface Utile	<input type="text"/> m <sup>2</sup>	Nbre de capteurs	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>						
Surface Utile	<input type="text"/> m <sup>2</sup>						
Nbre de capteurs	<input type="text"/>						
<p>Surface Entrée Totale</p>	<p><input type="text"/> m<sup>2</sup></p> <p><b><u>Surface d'entrée:</u></b> elle correspond à la surface de vitrage visible pour un capteur plan, et à la somme des projections normales des tubes pour un capteur à tubes sous vide. Elle se différencie de la surface hors tout qui correspond à l'aire maximum de la projection du capteur complet, isolant latéral compris. Cette différenciation est importante pour la comparaison des performances des différents modèles de capteurs.          On choisit entre 1 et 2 m<sup>2</sup> de capteurs pour 100 l/j de consommation d'eau chaude.</p>						



## II.7. Résultats de calculs. [7]

Les résultats de dimensionnement de l'installation solaire en utilisant le logiciel « SOLO » sont présentés dans les tableaux et courbes ci-dessous :

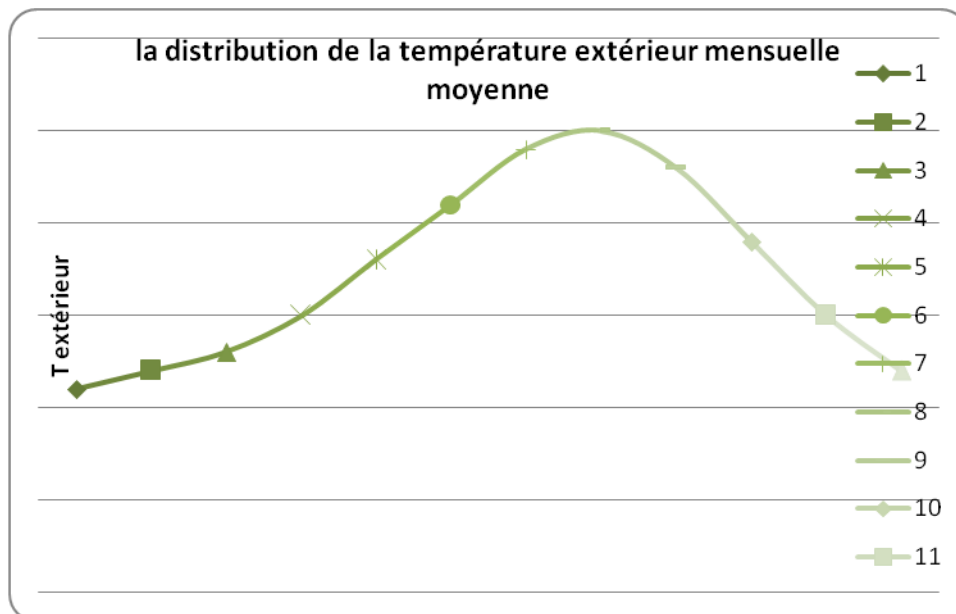
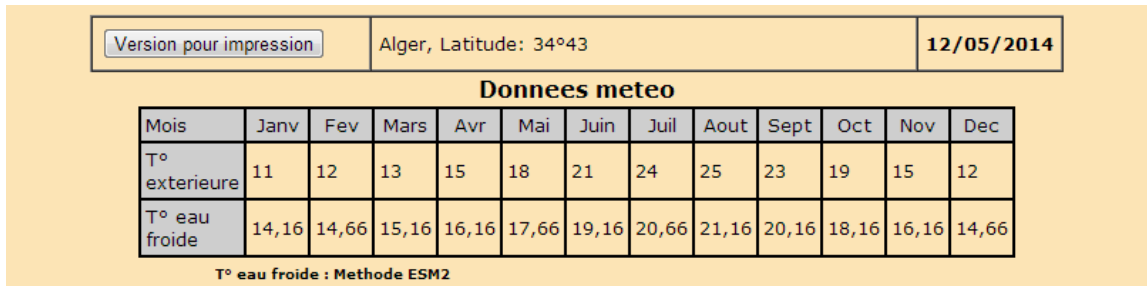


Figure 2.3- La distribution de la température extérieure mensuelle moyenne

Installation						
Capteurs			Stockage			
Surface	4 m <sup>2</sup>	Situation	Exterieur			
Inclinaison	40 °/Horiz	Temperature ECS	60 °C			
Orientation	0°/Sud	Volume de stockage	300 Litres			
Coefficient B	0,759	Cste de refroidissement	0,2263Wh/jour.l.°C			
Coefficient K	4,2W/m <sup>2</sup> .°C	Type d'installation	Thermosiphon sans échangeur			

	Irradiation capteurs (Wh/m <sup>2</sup> .jour)	Besoins (kWh/mois)	Apports (kWh/mois)	Apports (kWh/jour)	Taux (%)	Volume (litres)
Janvier	3062	330	105	3,4	31,8	200
Fevrier	4267	295	131	4,7	44,5	200
Mars	5157	323	178	5,7	55,1	200
Avril	5437	306	187	6,2	61,2	200
Mai	5922	305	209	6,8	68,6	200
Juin	5748	285	201	6,7	70,5	200
Juillet	5956	284	213	6,9	75,2	200
Aout	6096	280	215	6,9	76,8	200
Septembre	5634	278	195	6,5	70,0	200
Octobre	4477	302	163	5,3	54,0	200
Novembre	3178	306	112	3,7	36,5	200
Decembre	2796	327	97	3,1	29,7	200

Taux couverture solaire	55,4	%	Apport solaire annuel	2006	kWh/an
Besoin annuel	3620	kWh/an	Productivite annuelle	501	kWh/m <sup>2</sup> .an

## II.8. Interprétation des résultats de dimensionnement

1° En comparant les résultats obtenus pour la durée allant du 1er janvier au 31 décembre, on remarque que les besoins sont plus grands en hiver qu' en été et que le taux de couverture solaire annuel est de 55.4% et que la productivité annuelle est de 501kwh/m<sup>2</sup>.an, pour cela on peut dire qu'on a réalisé un bon dimensionnement et que cette installation peut satisfaire les besoins en eau chaude de plus de 50%.

### CONCLUSION :

Dimensionner une installation n'est pas une chose aisée car les besoins ne sont pas toujours connus rapidement, donc pour dimensionner au plus juste une installation solaire correspondant à l'optimum économique. On simule la production solaire et le coût en kWh solaire produit par plusieurs combinaisons "surface de capteur/ volume de stockage" l'installation offrant simultanément la production solaire la plus importante et le coût du kWh solaire le plus faible se situe à l'optimum économique. Notre installation est donc bien dimensionnée avec un taux de couverture solaire dépassant les 50% et une productivité dépassant les 400kwh/m<sup>2</sup>.an.

### III.1- INTRODUCTION :

Notre première expérience sur le chauffe- eau solaire individuel s'est déroulée au centre de développement (CDER) située à BOUZAREAH (Alger).

- **Paramètres caractéristique le site de BOUZAREAH (nord) :** [10]

Latitude = 36.72 °N

Longitude = + 3.12 °E

Altitude = 345 m

Albédo du sol = 0.2

### III.2- DESCRIPTION DU BANC D'ESSAI : (BOUZAREAH)

L'installation comporte deux capteurs plans à circulation naturelle (thermosiphon) de 4 m<sup>2</sup> de surface et de 300 L du volume de stockage qui peut satisfaire les besoins en eau chaude d'une famille de 4 à 6 personnes pour une consommation moyenne. L'inclinaison des capteurs est de 36° selon la latitude du lieu pour une consommation sur toute l'année. Voir (Figure 3.1)

**Orientation :** plein sud



Figure 3.1- banc d'essai du CESI à BOUZAREAH

### III.3- EMBLACEMENT :

Pour le choix de l'emplacement du capteur, il est important de : [9]

- Eviter les distances importantes entre capteur et lieu d'utilisation de l'énergie, les déperditions thermiques dues à la tuyauterie deviennent rapidement critique avec la distance et nécessitent alors une isolation parfaite et couteuse.
- Préférer les endroits abrités du vent. Il est déjà arrivé que des vitres s'envolent ou que les capteurs eux- mêmes subissent des contraintes mécaniques dommageables. Autre effet nocif du vent, il accroît les déperditions thermiques au niveau de la surface du vitrage et de la face arrière par ventilation. Une situation au sol des capteurs est donc préférable à une position élevée en toiture.
- Limiter les effets de masque.

### III.4- ORIENTATION ET INCLINATION : [11]

Deux données doivent être précisées : l'orientation et l'inclination du capteur.

- **Orientation** : les capteurs sont orientés plein sud, car c'est dans cette position que l'énergie recueillie durant toute la journée est maximale.
- **Inclination** : la position verticale des capteurs favorise la période hivernale, alors que la position horizontale conduit à de meilleurs rendements l'été. La solution idéale serait d'incliner différemment le capteur suivant la période de l'année.

### III.5- DEROULEMENT DE L'EXPERIMENTATION :

Avant de commencer à prendre des mesures, il faut prendre le soin de préparer le banc d'expérimentation comme suit :

- Remplissage de la cuve de stockage.
- Prévoir des couvertures, afin de pouvoir protéger les surfaces planes des capteurs.
- Programmation de l'enregistreur.

Une fois que tout est prêt, nous mettons l'enregistreur en marche.

### III.6- PARAMETRES A MESURER :

Les différents paramètres à mesurer sont :

- Les températures aux différents niveaux de la cuve de stockage et du capteur.
- La température ambiante.
- L'éclairement global incliné sur les surfaces des capteurs.

### III.7- MESURE DES TEMPERATURES DE L'EAU:

#### III.7.1- Au niveau de la cuve de stockage et des capteurs:

Pour la mesure des températures, nous avons utilisé les thermocouples de type K (Chrome- Alum) à la sortie et à l'entrée de la cuve et les capteurs. La soudure des jonctions est faite, à l'atelier par soudage au chalumeau. Ensuite, nous avons procédé à l'opération de l'étalonnage en utilisant un thermomètre digital type ELEC comme référence.

➤ **L'emplacement des thermocouples pour différentes mesures:**

Les figures suivantes Montrent l'emplacement des sondes de températures pour différents points de l'installation.







**Figure 3.2- Emplacement des thermocouples sur l'installation (BOUZAREAH).**

Les fils des thermocouples étant très courts, alors pour y remédier, nous avons ajouté d'autres fils de compensation lesquels sont ensuite regroupés qui est installé loin du banc d'essai.

### **III.8-PRINCIPE D'UN THERMOCOUPLE:**

Un thermocouple est composé de deux jonctions reliant chacune deux fils de nature différente. L'une des jonctions au point de mesure, constitue la soudure chaude, l'autre jonction est la soudure froide, dont la température est connue et sert de température de référence. [12]

Une différence de température entre les deux jonctions produit une F.E.M (force électromotrice) et un courant circule dans la boucle.

#### **III.8.1- Choix des thermocouples:**

Critères de choix d'un thermocouple :

- Domaine de température à mesurer.
- Sensibilité du couple.
- Résistance à la corrosion.
- Interchangeabilité.
- Tenue du couple dans une atmosphère donnée.

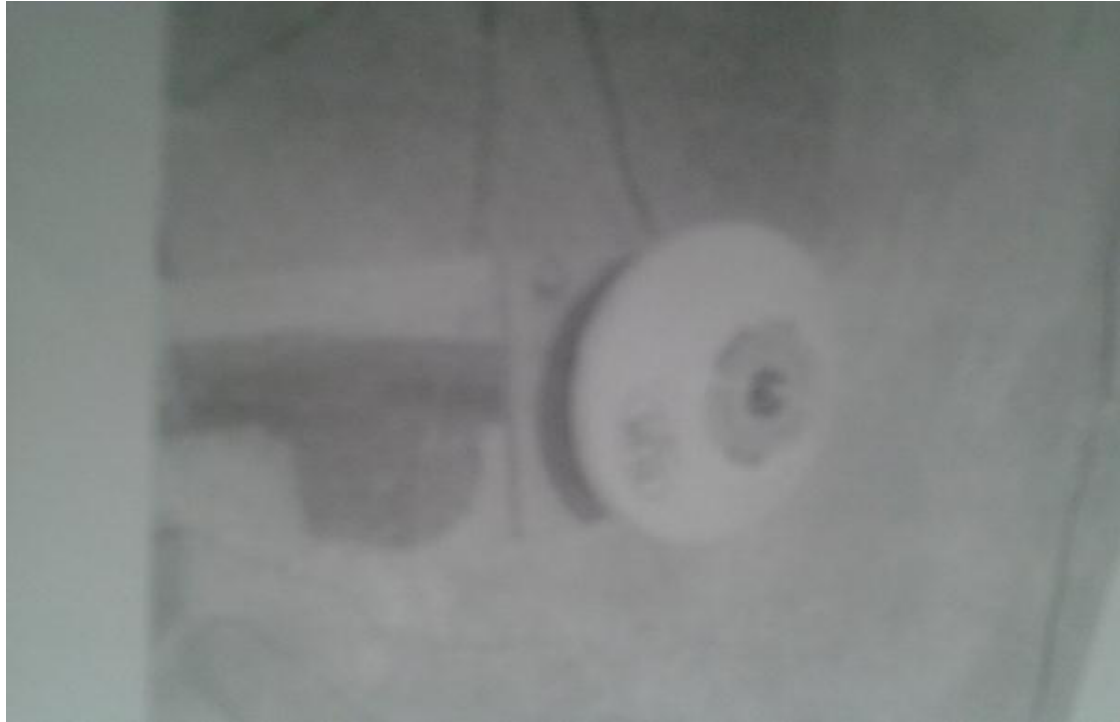
III.8.2- Normalisation des thermocouples:

Type de Thermocouple	Alliages	Domaine de la table en °C
K	Nickel-Chrome/ Nickel-Aluminium	-270 à 1370 °C
T	Cuivre/Cuivre- Nickel	-270 à 400 °C
J	Fer / Cuivre- Nickel	-210 à 1200 °C
N	Nickel Chrome- Silicium/Nickel-Silicium	-270 à 1300 °C
E	Nickel-Chrome/ Cuivre- Nickel	-270 à 1000 °C
R	Platine 13% Rhodium/Platine	-50 à 1760 °C
S	Platine 10% Rhodium/Platine	-50 à 1760 °C
B	Platine 30% Rhodium/Platine 6% Rhodium	0 à 1820 °C
G (non normalisé)	Tungstène /Tungstène26% Rhénium	1000 à 2300 °C
C (non normalisé)	Tungstène5%Rhénium/ Tungstène 26% Rhénium	0 à 2300 °C
D (non normalisé)	Tungstène3%Rhénium/ Tungstène 25% Rhénium	0 à 2400 °C

En ce qui concerne notre cas la gamme de température à mesurer varie de 0 à 100 °C, pour cela nous avons choisi des thermocouples de type K en raison de leur disponibilité, leur bonne sensibilité, et leur temps de réponse rapide associées a une courbe de réponse quasi linéaire dans le domaine de température envisagé.

**III.9- MESURE DE L'ECLAIREMENT GLOBAL INCLINE:**

La mesure de l'éclairement global a été effectuée par un pyranomètre de type KYPP et ZONNEN (CMS) [13], ayant une précision de 1%. Voir (Figure 3.3)



**Figure 3.3- Pyranomètre utilise pour mesurer l'intensité du rayonnement global.**

**CONCLUSION :**

La méthodologie de suivi des performances nous a permis de se familiariser avec l'installation de production d'eau chaude solaire on testant les différents composants de l'installation permettant ainsi de prévoir une meilleure conception pour le future. Les résultats expérimentaux sont représentés dans le chapitre suivant.



## IV.1- Introduction

Les résultats expérimentaux pour les différentes installations BOUZAREAH sont représentés sous forme de courbes.

Parmi les mesures, nous avons choisi pour les deux sites une journée claire pour ne pas perturber le système. Pour BOUZAREAH l'expérimentation c'était pendant le mois de mars, la journée choisie est le Jeu06Mars 2014 avec un pas de temps de 30 minutes de 8h à 17h.

## IV.2- Interprétation :

### IV.2.1- Site de BOUZAREAH : [18]

La figure 4.a.1 représente l'évolution de l'éclairement global solaire durant la journée du Jeu:06/03/2014 de 08h à 17h. On voit bien que la journée est à ciel clair et la courbe à l'allure d'une cloche qui atteint son maximum à 12h30 heure locale.

La figure 4.a.2 montre l'évolution de la température ambiante de 8h à 17h. On remarque qu'elle varie entre 26°C à 28°C de 8h à 12h et puis elle commence à avoir une pente négative légèrement et qui varie entre 27°C et 25°C

La figure 4.a.3 et 4.a.4 montrent l'évolution de la température de l'eau entrée et sortie du capteur respectivement pour la journée du 06/03/2014 de 08h à 17h avec un pas de temps de 30 min. les courbes ont la même allure avec des températures différentes

Afin de voir l'écart de température entrée/sortie du capteur, nous avons représenté les deux courbes sur le même graphe figure 4.a.5 et qui montre que l'écart est de plus 10°C de 11h à 15h30, ce paramètre est très important pour déterminer la performance de l'installation.

La figure 4.a.6 et 4.a.7 représentent l'évolution de la température de l'eau à l'entrée et à la sortie de la cuve et qui présente une allure similaire de 09h à 15h, mais après cette heure l'allure des deux courbes change pour la courbe de la température de sortie cuve continue à augmenter bien que l'éclairement diminue et tend à se stabiliser et ça est dû au gain de l'énergie qui est une pente négative ceci est dû aux pertes thermiques vers l'extérieure et tend à se stabiliser.

Afin de voir l'écart entre les deux températures entrée/sortie cuve, nous avons représenté les courbes sur le même graphe figure 4.b.8, on remarque que l'écart est de 10°C à 20°C de 9h à

15h, et après ça l'écart continu à augmenter jusqu'à une stabilisation. On peut expliquer ce cas que la cuve est bien isolé d'où la performance du système.

Site de BOUZAREAH

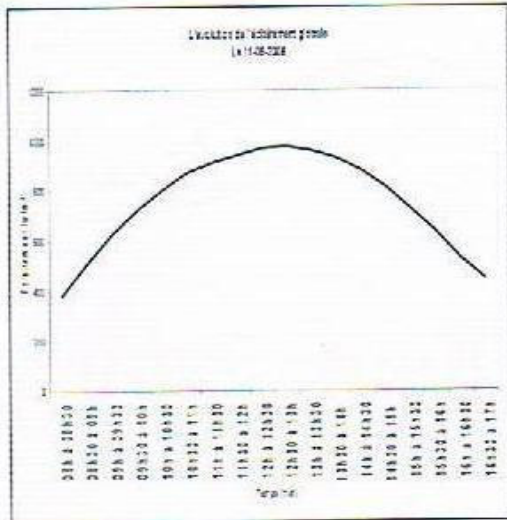


Figure 4.a.1- L'évolution de l'éclairement global.

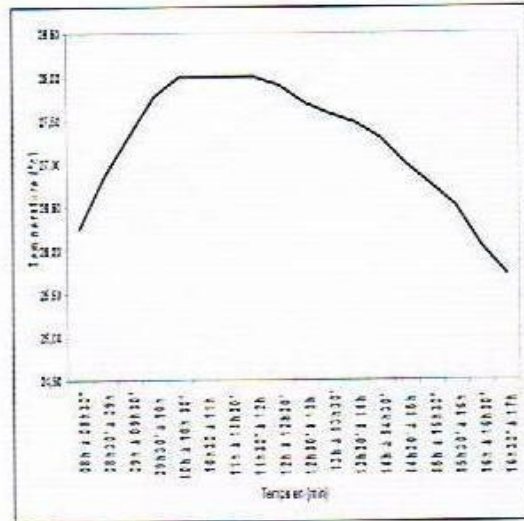


Figure 4.a.2- L'évolution de la température ambiante.

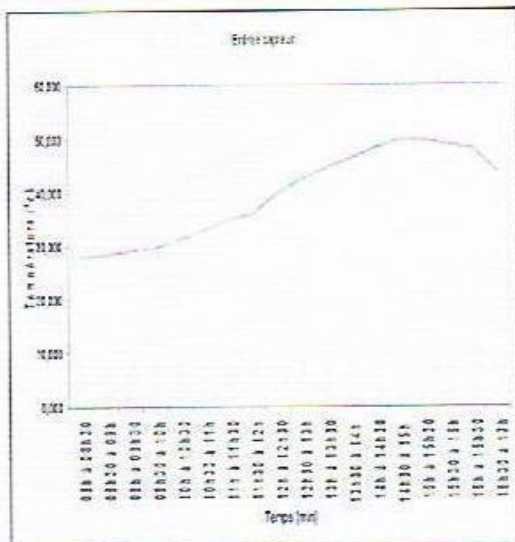


Figure 4.a.3- L'évolution de la température de l'eau entrée du capteur.

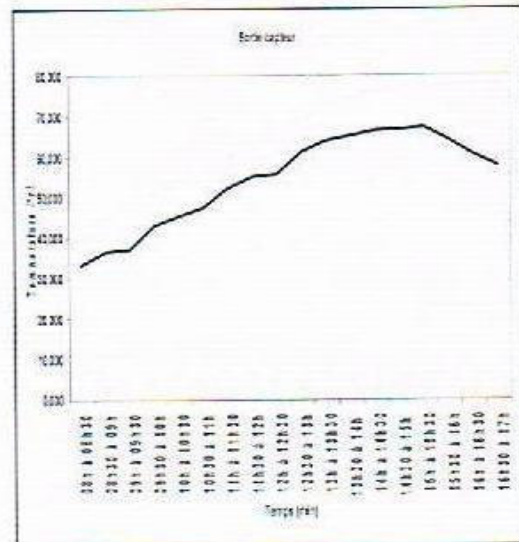


Figure 4.a.4- L'évolution de la température de l'eau sortie du capteur.

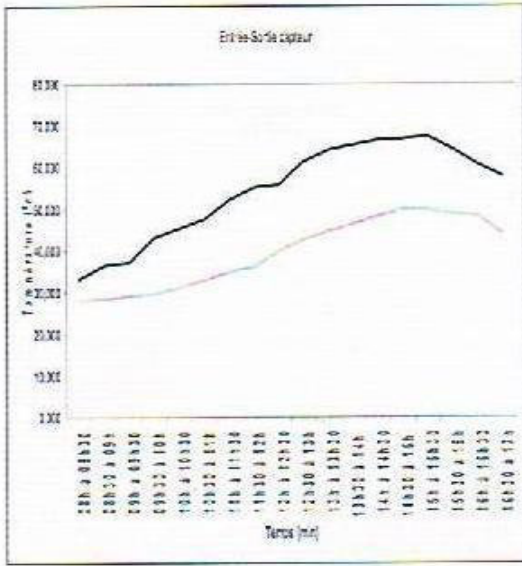


Figure 4.a.5- L'évolution de la température de l'eau entrée-sortie capteur.

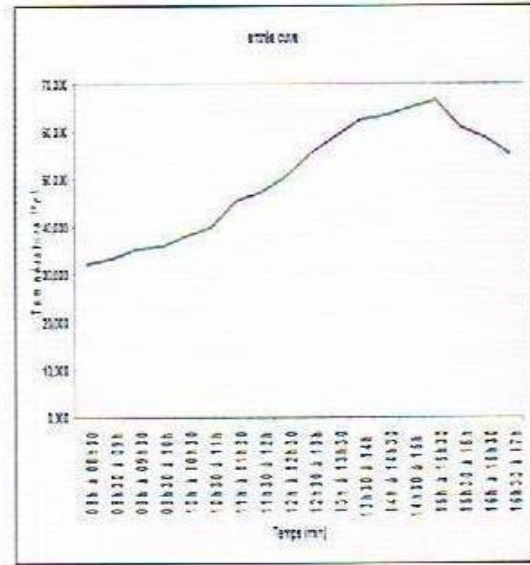


Figure 4.a.6- L'évolution de la température de l'eau entrée cuve.

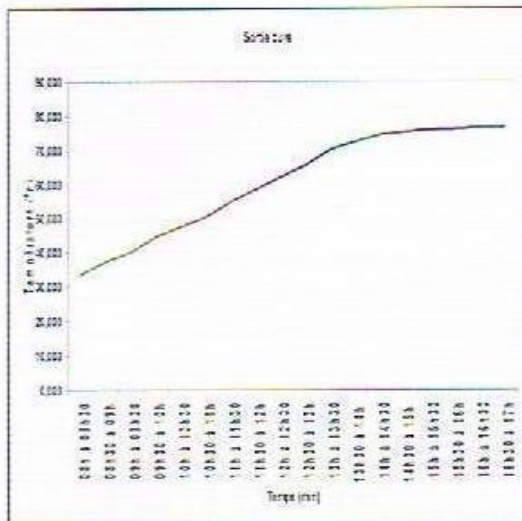


Figure 4.a.7- L'évolution de la température de l'eau sortie cuve.

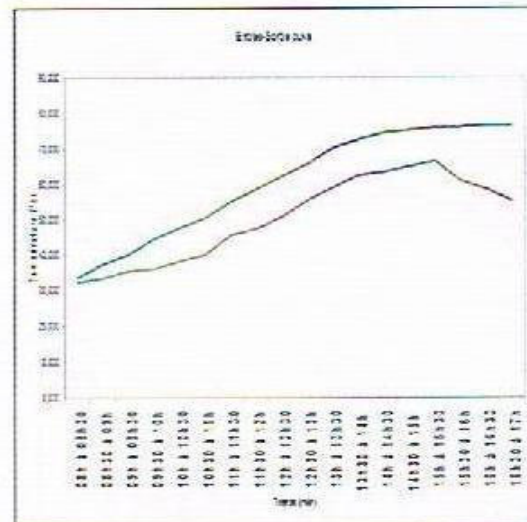


Figure 4.a.8- L'évolution de la température de l'eau entrée-sortie cuve.

CONCLISION :

Sur les courbes on voit que le rendement du capteur suit l'évolution de la température de l'eau, c'est à- dire qu'il faut faire circuler l'eau mais par contre dans la cuve c'est le contraire, et elles montrent que les installations sur le site (BOUZAREH) sont performantes, on peut avoir des résultats meilleurs si on diminue les pertes. Les chauffe- eau solaires s'adaptent très bien avec notre climat

## Conclusion générale

---

Notre travail au sein du centre de développement des énergies renouvelables nous a permis d'acquérir des connaissances dans le domaine de l'énergie solaire et ses applications et en particulier les chauffe eau solaires

Afin de dimensionner l'installation de production d'eau solaire, nous avons utilisé le logiciel solo développé par CSTB France et qui consiste à calculer les performances mensuelles de l'installation, les résultats de dimensionnement sont satisfaisants avec un taux couverture de plus 50% et une productivité annuelle de 400kwh/m<sup>2</sup>.an

Le suivi à distance des performances de l'installation de production d'eau solaire individuel est réalisé par l'emplacement des différentes sondes dans différents endroits de l'installation et ensuite les reliées à une centrale de mesure et qui sont représentés par des courbes ce qui a donné des résultats expérimentaux très intéressants

Par ce travail, nous pensons avoir apporté une contribution à l'étude des caractéristiques thermiques des différents éléments tel que les capteurs solaire, le ballon de stockage, sans oublié de noté les Systems d'appoint et de régulation qui sont indispensable pour satisfaire un bon fonctionnement, et en plus nous contribuons au développement du domaine de production d'eau chaude solaire dans notre pays, par la recherche des systèmes solaires les plus performants de point de vu économie et protection de l'environnement, permettant ainsi de garantir les résultats solaires, notre souhait est de mettre en place une industrie réelle pour la fabrication des chauffe eau solaires en Algérie en tenant compte de nos résultats de recherches.

Les installations de production d'eau chaude solaires sont très rentables en Algérie que ce soit au sud ou en nord, on peut satisfaire jusqu'à 80% des besoins en eau chaude si l'installation est bien dimensionnée, seul l'investissement au début est assez coûteux, mais comme l'énergie utilisée est gratuite, la production se traduit annuellement par des réelles économies.

L'énergie solaire est toutefois une solution d'avenir qui vaut le coup d'être plus exploitée, d'autant plus que de nombreuses améliorations sont encore possibles.

Notre souhait est de continuer ce travail par le suivi à distance des performances des chauffe eau solaires collectifs qui demandent réellement de garantir les résultats solaires aux utilisateurs et de justifier l'investissement.

## BIBLIOGRAPHIES

- [1] F. BOUHIRED, « commande et contrôle d'une installation solaire thermique », mémoire de magister, UNIVERSITE MOHAMED BOUGARA BOUMERDES, Octobre 2004.
- [2] THIERRY CABIROL, ALBERT PELISSOU, DANIEL ROUX. « Le chauffe-eau solaire », EDISUD. Cop, 1980.
- [3] ANDRE JOFFRE, « cours d'Alsace », TECSOL, Formation Strasbourg Janvier 2004, [www.tecsol.fr](http://www.tecsol.fr)
- [4] J.F. SACADURA, « Initiation aux transferts thermiques », CAST, INSA de Lyon, Editions technique et documentation.
- [5] THIERRY CABIROL, DANIEL ROUX. « Chauffage de l'habitat et énergie solaire », EDISUD. Cop, 1982, 1984, 2 VOL.
- [6] S. SAMI- MECHERI, A. HAMID, D. LAFRI, et D. SEMMAR, « l'appoint pour les installations solaires de chauffage d'eau sanitaire », 2<sup>ème</sup> symposium du comité Algérienne de l'énergie, économie d'énergie et environnement, Alger, 15- 16 novembre, 2000.
- [7] Eau chaude solaire conception, dimensionnement et réalisation des installations collectives A.F.M.E.
- [8] Dimensionnement des équipements solaires, logiciel SOLO, CSTB France, [www.Tecsol.fr](http://www.Tecsol.fr)
- [9] Manuel de l'installation de système solaires thermiques en Tunisie, logiciel, Nov. 1998.
- [10] MICHEL. CAPDEROU, « Atlas solaire de l'Algérie » T1, modèles théoriques et expérimentaux, 1988.
- [11] JEAN- MARC RADIGOIS, « Installation solaires à capteur plan », école supérieure d'optique héliothermique conseil, B 268, Techniques de l'ingénieur 2- 1980.
- [12] M. SAMI, S. MECHRI, « Optimisation des surfaces de captation pour les installations solaires de chauffage d'eau sanitaire », UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA, 2004.
- [13] M. KHOKHI, « Etude théorique et expérimentale du chauffe-eau solaire de production notionnelle », secrétariat d'état à la recherche scientifique, décembre 1992.

[14]MICHEL. CAPDEROU, «Atlas solaire de l'Algérie», aspect énergétique, Tome 2, 15 Juin 1985.

[15]M.SALMI- MOUNIR, I. MYAHI, «Etude thermique et expérimentation d'une installation solaire collective», UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA,

[16] PH. CHOARD, H.MICHEL, M.F.SIMON, «Bilan thermique d'une maison solaire», Edition, 1979.

[17] F.BOUHIRED, A.CHOUDER, «expérimentation du système de régulation et contrôle destiné pour l'appoint électrique d'un chauffe- eau solaire», publication, revue des énergies renouvelables, 1999.

[18] [www.CDER.dz](http://www.CDER.dz)

[19] SAHNOUNE.FATIHA, «Etude économique du système de régulation et contrôle destiné pour l'appoint électrique d'un chauffe- eau solaire» publication en conférence du Liban. Mars 2014

**ANNEXES :**

# ANNEXES

## ETUDE ECONOMIQUE

### V.1-INTRODUCTION :

L'étude économique va nous permettre de comparer entre une chauffe- eau solaire et un chauffe- eau à gaz. L'investissement dans les énergies renouvelables n'échappe pas à la règle de rentabilité financière, même s'il est vrai que le chauffe eau solaire est non polluant, disponible et durable, le côté économique est certainement le plus indicatif chez les ménages, d'où tout l'intérêt d'évaluer le prix du kWh solaire et le comparer à celui des énergies traditionnelles disponible sur le marché, à savoir le gaz naturel, l'électricité, fioul et le gaz butane.

### V.2- L'EVALUATION FINANCIERE ET ECONOMIQUE DES PROJETS

#### V.2.1- Les arguments financiers et économiques

- **Investissement**

L'investissement doit comprendre l'ensemble des coûts relatifs à la conception de l'installation, aux équipements, à l'achat des dispositifs de comptage et de suivi des performances des installations, à leur mise en œuvre et à la formation des personnels d'exploitation et de maintenance, s'ils sont placés sous l'autorité du maître d'ouvrage.

- **Coût d'exploitation et de maintenance**

Le coût d'exploitation est une grandeur difficile à estimer a priori, puisqu'il dépend largement de la performance de l'installation et des conditions réelles d'utilisation de l'ECS (besoins, usages, conditions de soutirage...).

Le coût d'exploitation est calculé à partir du coût de l'énergie utilisée par le système d'appoint et les équipements auxiliaires (pompes, réchauffeurs...). Il inclut également le coût des services de maintenance (entretien, réparation ou remplacement de tout ou partie des équipements de l'installation) et de télé-contrôle, ainsi que les coûts liés au personnel d'exploitation.

- **Prix de l'énergie solaire produite**

La formule suivante donne le coût d'1 kilowatt heure d'énergie solaire produit, ce qui constitue une première indication de l'intérêt économique de l'investissement :



## ANNEXES

$$\text{COÛT} = \frac{\text{Investissement Net}}{\text{Durée de Vie} \times \text{Apport Sol}}$$

### V.2.2- Rentabilité du projet

- **Valeurs actuelle net du projet (VAN)**

Elle s'évalue par la valeur actualisée des rentrées de fonds moins la valeur actualisée des sorties de fonds pour la durée du projet. Elle traduit aussi la richesse supplémentaire apportée par le projet.

$$\text{VAN} = -\text{Investissement} + \sum \text{recettes nettes} \times (P / F, i\%, n) - \sum \text{coûts nets} \times (P / F, i\%, n) \quad (\text{III.13})$$

$i\%$ =taux d'actualisation. C'est le taux d'intérêt dont on se sert pour déterminer la valeur actuelle d'un montant futur en l'actualisant.

$n$ = durée du projet

$P$ = valeur actuelle

$F_n$  valeur futur en l'année

$(P/F_n, i\%, n)$  =Valeur actuelle ( $P$ ) du montant futur ( $F_n$ ) à l'année ( $n$ ) au taux d' $i\%$ .

- Si  $\text{VAN} > 0$  le projet est rentable
- Si  $\text{VAN} < 0$  le projet n'est pas rentable

- **Temps de retour simple**

Le temps de retour simple est le nombre d'années nécessaire pour que les économies cumulées dépassent le coût d'investissement. Il est calculé en faisant l'hypothèse implicite d'une stabilité du prix de l'énergie, ce qui est évidemment sujet à caution. [3]

Le temps de retour calcule par la relation suivante :

$$\text{TR} = \frac{\Delta I}{\text{Eco}} \quad (\text{III.15})$$

Et:  $\text{Eco} = \Delta \text{conso} \times \text{PE} - \text{Ent} - \text{Elec} \quad (\text{III.16})$

Avec:

$\Delta I$ : sur coût d'énergie, subventions éventuelles déduites (DA)

$E$  : Économie annuelle (DA /an)

$\Delta \text{conso}$ : Économie énergétique (KWh /an)

$\text{PE}$  : prix de l'énergie substituée (DA /KWh)

$\text{Ent}$  : coût d'entretien annuel (DA/an)

$\text{Elec}$  : coût d'électricité des auxiliaires (DA/an)

# ANNEXES

- **Coût global actualisé**

L'analyse en coût global des solutions propose l'évaluation sur un horizon économique donné, de l'ensemble des coûts initiaux liés à l'investissement et de ceux liés à l'exploitation : coûts de fonctionnement, coûts de maintenance, frais financiers, remboursement d'emprunts..., sur une période économique définie. Elle est généralement utilisée pour affecter un budget à une opération ou pour juger de l'intérêt économique de propositions diverses.

Pour évaluer un projet d'énergie renouvelable, il faut comparer son coût global actualisé avec celui d'une solution de référence conventionnelle.

Le coût global actualisé se calcule par la relation suivante :

GA = coût d Investissement + $\Sigma$  coût différés pour gros travaux et renouvellement des ouvrages et équipements + $\Sigma$  coût d'exploitations annuelle + $\Sigma$  coût de maintenance et vérification des installations,

## **V.3. Calcul de prix du KWh solaire**

### **V.3.1. Coût d'investissement de l'installation solaire**

L'investissement comprend le coût des capteurs solaires et le coût du ballon de stockage.

Le dimensionnement de l'installation solaire réalisée par le logiciel SOLO aboutit à 2 panneaux solaires plan de type JAQCUES GIORDANO INDUSTRIES et un réservoir de stockage de 300 L.

- Coût du panneau solaire plan
- Coût d'un réservoir de stockage de 300 l
- Le coût total de l'installation solaire s'élèverait ainsi 120000 (1Dinar algérien DA = 0,11 Euro)

Ainsi, pour une durée de vie de l'installation qui est en moyenne de 25 ans, et la production d'énergie annuelle donnée ci dessus, le prix du kilowattheure solaire s'élèverait 4,25 DA. Actuellement, l'état accorde une aide financière de 45 % sur l'investissement. En tenant compte de cette subvention, le prix du kilowattheure solaire ne s'élèverait réellement qu'à 2.34 DA.

### **V.3.2- Coût des énergies conventionnelles :**

Les énergies conventionnelles utilisées en Algérie sont l'électricité, le gaz naturel, gaz butane et diesel.

Le coût du KWh du gaz naturel ainsi que celui de l'électricité dépend de la quantité d'énergie consommé sur une période donnée. En général, deux tranches de prix sont appliquées.

## ANNEXES

En Algérie, les prix de l'énergie vendue localement sont fixés par l'état. Ce sont des prix fortement subventionnés qui sont largement inférieurs au prix de revient réel de leur production.

- **Coût de KWh produit à partir du gaz naturel**

Le tableau suivant illustre le coût unitaire par tranche de consommation et le montant à payer pour la consommation mensuelle de notre logement.

Table . Coût unitaire du gaz naturel et montant à payer pour le logement

1 <sup>ère</sup> tranche Consummation (th)	Prix unitaire (DA)	2 <sup>ème</sup> tranche Consummation (th)	Prix unitaire (DA)	Montant (DA)
375	0,168	989,08	0,324	383,461
<b>TVA (taux 7 %)</b>				26,842
<b>Prime fixe /mois</b>				28,500
<b>Total à payer</b>				438,803

Le prix du KWh en utilisant le gaz naturel pour le chauffage de l'eau de la maison est : **0,277 da**

Le prix du KWh en utilisant l'électricité pour le chauffage de l'eau et de la maison est : **4,415 DA**

- **Coût de KWh produit à partir du gaz butane :**

Le gaz butane est vendu sur le marché sous forme de bouteille contenant 13 Kg de butane, dont le prix est de 230 DA la bouteille. Le pouvoir énergétique de 1 Kg de gaz butane est de l'ordre de 13.72 KWh. L'énergie nécessaire s'élève ainsi à 115.33 Kg correspondant au contenu d'environ 9 bouteilles. A partir de ces données, il en résulte que le prix du KWh <sub>butane</sub> s'élève à 1.31 DA

Nous récapitulons en table ....Les différents coûts du KWh en fonction de l'énergie utilisée

## ANNEXES

<b>Energies utilise</b>	<b>energies solaire</b>	<b>Energies fossils</b>	
		GAZ naturel	GAZ butane
<b>Coût du KWh en DA</b>	2,34	0,28	1,31

Cette comparaison montre que, le prix du KWh solaire subventionné est très haut par rapport au gaz naturel et butane. Pour le consommateur, le gaz naturel est de loin le plus bas, mais dans le prix calculé, nous n'avons pas inclus l'investissement lourd supporté par l'état pour les stations de compression, pour son transport et son raccordement jusqu'au client. C'est d'ailleurs aussi pour cette raison que malgré tous les efforts entrepris par l'état, le gaz naturel n'atteint actuellement que la moitié de la population,

On constate ainsi, indépendamment de l'impact environnemental, qu'en Algérie, comme dans plusieurs autres pays riches en gaz naturel, le solaire ne sera vraiment compétitif que lorsque l'état appliquera le coût réel des énergies fossiles.

#### **V.4- Impact environnemental : [19]**

L'énergie solaire est non seulement gratuite et inépuisable, mais elle ne génère aucune pollution. Le tableau présente les émissions unitaires de CO<sub>2</sub> issues de la combustion de différentes énergies fossiles.

## ANNEXES

Energies	g de CO <sub>2</sub> émis/kWh
Solaire thermique	≈ 0
GAZ naturel	205
Diesel	271
GAZ propane/butane	231
charbon	342
Fioul lourd	281
GAZ turbine	912
Electricité	
Diesel	985
Hydraulique	5

D'après cette étude sur l'impact environnementale on constate que les émissions de gaz à effets de serre sont très importantes en utilisant les énergies conventionnelles comme moyen de chauffage

A l'inverse, une installation solaire thermique couvre une partie des besoins de chaleur d'une habitation pour la production d'eau chaude sanitaire ainsi le solaire thermique se substituant en très large partie aux énergies fossiles, il permet de réduire fortement les émissions de gaz à effet de serre.

### **CONCLUSION :**

L'étude réalisée dans ce chapitre montre la nécessité de recours à l'énergie renouvelable qui permet une réduction considérable des émissions de gaz à effet de serre qui est une des priorités essentielles inscrites dans la loi de programme fixant les orientations de la politique énergétique, malgré son coût très élevée par rapport aux énergies conventionnelles tel que le gaz naturel, butane et le mazout.

## BIBLIOGRAPHIES

- [1] F. BOUHIRED, « commande et contrôle d'une installation solaire thermique », mémoire de magister, UNIVERSITE MOHAMED BOUGARA BOUMERDES, Octobre 2004.
- [2] THIERRY CABIROL, ALBERT PELISSOU, DANIEL ROUX. « Le chauffe-eau solaire », EDISUD. Cop, 1980.
- [3] ANDRE JOFFRE, « cours d'Alsace », TECSOL, Formation Strasbourg Janvier 2004, [www.tecsol.fr](http://www.tecsol.fr)
- [4] J.F. SACADURA, « Initiation aux transferts thermiques », CAST, INSA de Lyon, Editions technique et documentation.
- [5] THIERRY CABIROL, DANIEL ROUX. « Chauffage de l'habitat et énergie solaire », EDISUD. Cop, 1982, 1984, 2 VOL.
- [6] S. SAMI- MECHERI, A. HAMID, D. LAFRI, et D. SEMMAR, « l'appoint pour les installations solaires de chauffage d'eau sanitaire », 2<sup>ème</sup> symposium du comité Algérienne de l'énergie, économie d'énergie et environnement, Alger, 15- 16 novembre, 2000.
- [7] Eau chaude solaire conception, dimensionnement et réalisation des installations collectives A.F.M.E.
- [8] Dimensionnement des équipements solaires, logiciel SOLO, CSTB France, [www.Tecsol.fr](http://www.Tecsol.fr)
- [9] Manuel de l'installation de système solaires thermiques en Tunisie, logiciel, Nov. 1998.
- [10] MICHEL. CAPDEROU, « Atlas solaire de l'Algérie » T1, modèles théoriques et expérimentaux, 1988.
- [11] JEAN- MARC RADIGOIS, « Installation solaires à capteur plan », école supérieure d'optique héliothermique conseil, B 268, Techniques de l'ingénieur 2- 1980.
- [12] M. SAMI, S. MECHRI, « Optimisation des surfaces de captation pour les installations solaires de chauffage d'eau sanitaire », UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA, 2004.
- [13] M. KHOKHI, « Etude théorique et expérimentale du chauffe-eau solaire de production notionnelle », secrétariat d'état à la recherche scientifique, décembre 1992.

[14]MICHEL. CAPDEROU, «Atlas solaire de l'Algérie», aspect énergétique, Tome 2, 15 Juin 1985.

[15]M.SALMI- MOUNIR, I. MYAHI, «Etude thermique et expérimentation d'une installation solaire collective», UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA,

[16] PH. CHOARD, H.MICHEL, M.F.SIMON, «Bilan thermique d'une maison solaire», Edition, 1979.

[17] F.BOUHIRED, A.CHOUDER, «expérimentation du système de régulation et contrôle destiné pour l'appoint électrique d'un chauffe- eau solaire», publication, revue des énergies renouvelables, 1999.

[18] [www.CDER.dz](http://www.CDER.dz)

[19] SAHNOUNE.FATIHA, «Etude économique du système de régulation et contrôle destiné pour l'appoint électrique d'un chauffe- eau solaire» publication en conférence du Liban. Mars 2014

**ANNEXES :**