

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE MINISTERE DE
L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DES SCIENCES
DEPARTEMENT DE
PHYSIQUE

N° : Ph/ENR/19/2020



DOMAINE : Sciences de la matière

FILIERE: Physique

OPTION: Physique Energétique

et Energies Renouvelables

Mémoire présenté pour l'obtention
du diplôme de Master Académique

Réalisé par

AISSAOUA AFAF

BOUZIDI FATNA

Intitulé

**Dimensionnement d'une installation d'un
chauffe-eau hybride solaire/gaz**

Devant le jury composé de :

Nahoui Azzedine	Université Mohamed Boudiaf - M'sila	Président
Haddad Zakaria	Université Mohamed Boudiaf - M'sila	Rapporteur
Tahrour Farouk	Université Mohamed Boudiaf - M'sila	Examineur

Année universitaire : 2019/2020

Dédicaces

*NOUS DÉDIONS CET HUMBLE TRAVAIL
À NOS CHERS PARENTS
À NOS FRÈRES
À TOUS LES MEMBRES DE NOTRE FAMILLE
À NOTRE SUPERVISEUR À TOUS NOS
COLLÈGUES ET
AMIS PARTOUT À
TOUS CEUX QUI ONT SACRIFIÉ LEUR TEMPS
POUR LA SCIENCE
ET À TOUS CEUX QUI UTILISENT LA SCIENCE
POUR LE BIEN
ET LA PROSPÉRITÉ DE L'HUMANITÉ*

Remerciements

*Je remercie dieu le tout puissant de m'avoir donné le
courage et la
Patience qui m'a permis d'accomplir ce modeste
travail.*

*Je tiens en premier à exprimer ma grande gratitude
envers mon*

*Encadreur Mr. **Haddad Zakaria***

Enseignant à l'université de M'sila,

Qui m'a apporté son aide et ses valeureux

*Conseils pour l'accomplissement et le suivit de ce
travail.*

*Je remercie également Dr. **Nahoui Azzedine,***

*Et Dr. **Tahrour Farouk** d'avoir accepté de*

Participer à mon jury de mémoire.

*Et je présente mes sincères remerciements à tout le
personnel qui*

M'a aidé à la Réalisation de ce travail

Table des matières

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

Chapitre 1

Généralités sur les chauffe eau solaires

Introduction.....	4
1.Principe de fonctionnement d'un chauffe-eau solaire.....	4
2. Différents types de chauffe-eau solaire.....	5
2.1 Chauffe-eau solaire à circulation forcée	5
2.2 Chauffe-eau solaire à thermosiphon	6
2.3 Chauffe-eau solaire monobloc.....	7
3.Composants d'un chauffe-eau solaire.....	8
4. Les autres composants d'un chauffe-eau solaire	9
5. Les différents types de capteur solaire.....	13
6. L'appoint énergétique	15
7.Efficacité d'un chauffe-eau hybride solaire/gaz	17

Chapitre 2

Aspectseconomiquesdes systèmesde CES

Introduction.....	19
1.Évaluation technico-économique des systèmes CES	20
2. Tendances à la réduction des coûts dans les systèmes CES.....	24

Chapitre 3

Dimensionnement d'un chauffe-eau hybride solaire/gaz

1. Méthodes de dimensionnement des chauffe eau solaire	28
1.1 Première méthode de dimensionnement	28
1.2 Evaluation annuelle d'énergie d'un CES.....	29

1.2 Deuxième méthode de dimensionnement.....	31
1.2.1 Évaluation des besoins en énergie calorifique.....	31
1.2.2 Détermination de la couverture solaire.....	32
1.2.3 Détermination de l'énergie à fournir par le CES.....	32
1.2.4 Détermination de l'énergie totale solaire à capter par an	32
1.2.5 Calcul de la surface des capteurs	32
1.2.6 Détermination du volume de stockage	33
1.3 Troisième méthode de dimensionnement	33
1.3.1 Évaluation des besoins d'eau chaude	33
1.3.2 Calcul du volume de stockage	34
1.3.3 Calcul des accessoires	34
2. Dimensionnement d'un chauffe-eau hybride solaire/gaz à M'sila.....	37
2.1 Le système proposé.....	37
2.2 Composants du système proposé.....	37
2.3 Propriétés de logement	38
2.4 Dimensionnement	Error! Bookmark not defined.

Conclusion générale

Bibliographie

Résumé

Liste des figures

Chapitre 1

Figure (1-1) : Principe de fonctionnement d'un chauffe-eau solaire

Figure (1-2) : Chauffe-eau solaire à circulation forcée

Figure (1-3) : Chauffe-eau solaire à thermosiphon

Figure (1-4) : Chauffe-eau solaire monobloc

Figure (1-5) : Ballon de stockage d'un CES

Figure (1-6) : Capteur solaire thermique

Figure (1-7) : Conduites de liaison isolées

Figure (1-8) : Le circulateur

Figure (1-9) : Clapet anti-retour

Figure (1-10) : Vase d'expansion

Figure (1-11) : Soupape de sécurité

Figure (1-12) : Robinet de vidange

Figure (1-13) : Purgeur automatique

Figure (1-14) : Le régulateur

Figure (1-15) : Composants de capteur solaire.

Figure (1-16) : La moyenne mensuelle de la production d'un chauffe-eau solaire et de l'appoint

Figure (1-17) : L'appoint électrique.

Figure (1-18) : L'appoint en série.

Chapitre 2

Figure. (2-1) : Chauffage solaire de l'eau chaude, capacité existante (10 principaux pays)

Figure. (2-2) : Paramètres d'entrée et de sortie pour la modélisation de l'approximation potentielle du système de CES.

Chapitre 3

Figure (3-1) : Installation proposé pour le site de M'sila avec un système hybride solaire/gaz.

Figure (3-2) : Climat annuel de la willaya de M'sila

Nomenclature

Symbole	Désignation	Unité
B_{ecs}	Les besoins en énergie calorifique	kWh/jr
E'	L'ensoleillement quotidien du mois le moins ensoleillé de l'année	kWh/m ² /jr
H	irradiation horizontale moyenne annuelle	kWh/m ²
I_u	Intensité moyenne utile	W/m ²
V_p	Volume journalier par personne	litre
N_p	Nombre d'occupant du logement.	
T_{es}	Température de l'eau de soutirage	°C
T_{ef}	Température de l'eau froide entrant dans le ballon de stockage	°C
T_{st}	Température moyenne de l'eau de stockage prise	
K	coefficient mentionné	
H_{mcir}	hauteur manométrique du circulateur	M
P_{dccc}	Perte de charge du capteur	<i>mce</i> (mètres de colonne d'eau) <i>1 bar= 10 mce</i>
L	longueur totale de la conduite	M
Z	perte de charge singulière moyenne	(m/mce).

Introduction générale

Les besoins énergétiques de l'humanité n'ont pas cessé de croître avec son évolution: on a utilisé d'abord des ressources naturelles telle que le charbon, le bois et par la suite avec le progrès scientifique, le pétrole, le gaz, l'énergie hydraulique et l'énergie nucléaire.

Actuellement les énergies fossiles sont consommées bien plus rapidement qu'elles ne se forment dans la nature et selon les estimations, les réserves mondiales seront épuisées vers 2030 si la consommation n'est pas radicalement modifiée, et au plus tard vers 2100 si des efforts sont fournis concernant la production et la consommation nécessaire. Cette forme d'énergie étant limitée dans le temps, il s'avère nécessaire de trouver une autre solution pour prendre le relais, la contrainte imposée est d'utiliser d'autres sources d'énergies, tout en tenant compte des factures économiques et environnementales.

L'énergie solaire qui est l'objectif de notre étude se caractérise par une absence de pollution et une disponibilité exceptionnelle. D'autre part, les systèmes d'exploitation qui utilisent cette forme d'énergie demandent une légère maintenance et présentent une bonne fiabilité de fonctionnement, une autonomie de plus en plus accrue, une résistance extrême aux conditions naturelles (température, humidité, vent, corrosion,.....etc.), et donc une grande longévité, il apparaît dès lors que l'énergie solaire peut apporter de réelles solutions.

Cette source d'énergie est utilisée de manières différentes, par exemple; dans les systèmes thermiques (chauffes eau solaires), pour la production d'eau chaude, domaine où elle connaît un développement considérable particulièrement dans le secteur de l'habitat.

Le dimensionnement des systèmes à chauffe-eau solaires occupe une fonction déterminante, en effet la gestion de cet élément est fonction de plusieurs paramètres tel que : les besoins de l'utilisateur en quantité d'eau chaude, la température de l'eau chauffée, les conditions climatiques locales, les performances du système à capteurs plans.

Dans ce mémoire nous avons dimensionné un chauffe-eau solaire sous les conditions météorologiques de Msila, le travail est compris une introduction générale suivie par trois chapitres :

- Le premier chapitre est consacré aux généralités sur les chauffe eau solaires.
- Le deuxième chapitre est traité les aspects économiques des systèmes de CES.

- Dans le troisième chapitre une présentation des méthodes utilisées pour le dimensionnement des installations des chauffes eau solaires, avec une application pour le site de Msila.

Et termine par une conclusion générale.

Chapitre 1



*Généralités sur les
Chauffes eau
Solaires*

Introduction

L'utilisation de l'énergie solaire la plus simple et la plus directe, est la production d'eau chaude sanitaire. C'est aussi l'une des plus anciennes, comme plusieurs dispositifs de Chauffe-eau solaires ont été inventés depuis les débuts du XX^{ème} siècle jusqu'à nos jours, plus performants les uns que les autres.

Les trois parties de fonctionnement d'un système de chauffage solaire sont : la captation, le stockage et la distribution. La captation est la partie essentielle pour la conversion de l'énergie solaire. Elle est représentée par le capteur solaire. C'est ce dernier qui transforme l'énergie solaire en quantité de chaleur qu'il transmet au fluide caloporteur circulant dans son absorbeur. Vu le rôle important que joue le capteur solaire dans la conversion de l'énergie solaire en énergie thermique, plusieurs recherches ont été menées sur l'étude du capteur solaire plan avec le but d'améliorer son rendement instantané qui représente la performance la plus caractéristique. Le rendement instantané d'un capteur plan varie avec sa géométrie, ses paramètres de construction et les paramètres externes comme le rayonnement solaire, la température ambiante, la vitesse du vent...etc.

1. Principe de fonctionnement d'un chauffe-eau solaire

Un chauffe-eau solaire, c'est un dispositif qui se compose de plusieurs éléments, dont deux principaux qui sont les capteurs solaires thermiques, et le ballon de stockage. Les panneaux ou les tubes sont chargés de capter l'énergie du soleil, afin de la transformer en chaleur. Ils transmettent cette chaleur au tube du circuit hydraulique qui est rempli d'eau ou de liquide caloporteur. Le liquide est donc chauffé, puis il circule à l'aide d'une pompe ou bien naturellement, selon les types de dispositif jusqu'au ballon. Le liquide chaud entre dans l'échangeur thermique qui serpente à l'intérieur du ballon, et transmet sa chaleur à l'eau qui monte alors en température. Lorsque le liquide caloporteur refroidit, il repart alors par un autre chemin, vers les panneaux, pour remonter en température. Cette boucle se répète pour que l'eau reste toujours chaude. Bien sûr le système s'arrête de fonctionner la nuit, mais le ballon est toujours prévu pour conserver l'eau à une certaine température pendant plusieurs heures. Un régulateur stoppe également le dispositif lorsque l'eau est bien chaude dans le ballon, notamment sur un chauffe-eau à pompe électrique. Lorsqu'on utilise de l'eau chaude, le ballon se remplit alors d'eau froide, et le système se remet en route automatiquement pour réchauffer l'eau qui vient d'arriver. C'est un système qui peut être principal ou d'appoint, mais il nécessitera toujours la présence d'un deuxième système de secours, pour pallier au

manque de soleil, notamment en hiver. Un chauffe-eau solaire vous permettra généralement de vous fournir entre 40 et 70 % de vos besoins en eau chaude [3].

Un chauffe-eau solaire est généralement couplé à un système d'appoint (électrique ou à gaz) qui prend le relais des capteurs solaires pour assurer la production d'eau chaude pendant les périodes de faible ensoleillement [2].

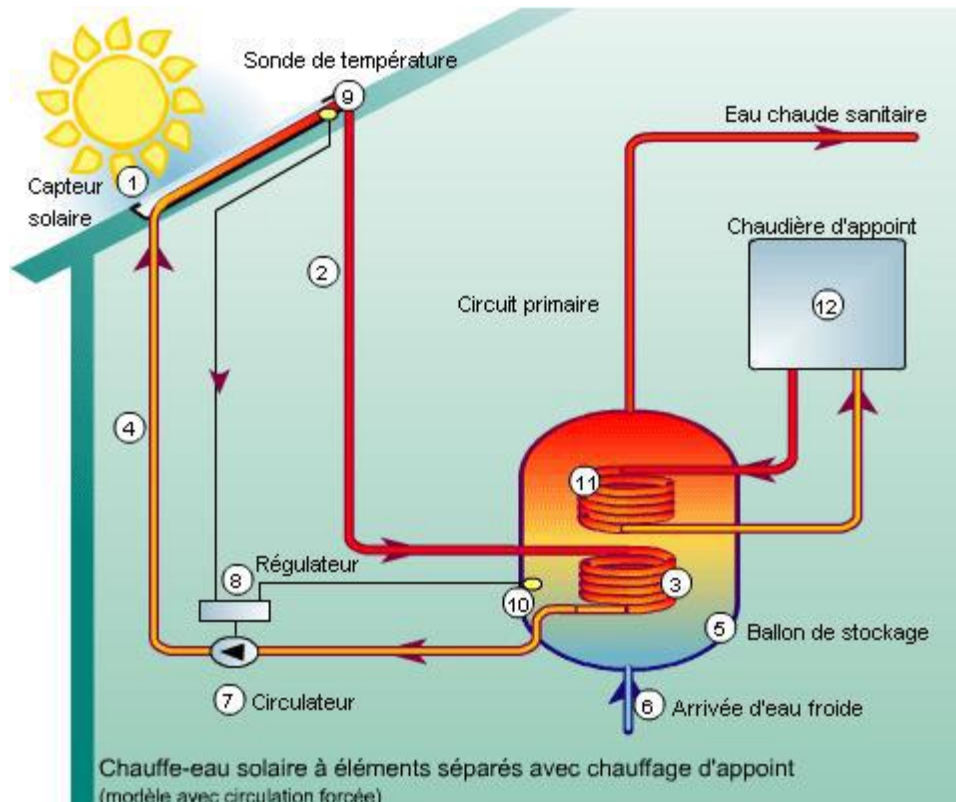


Figure (1-1) Principe de fonctionnement d'un chauffe-eau solaire.

1-capteur solaire, 2-circuit primaire (eau chaude), 3-échangeur thermique, 4-circuit primaire (eau froide), 5-ballon de stockage, 6-Arrivée d'eau froide, 7-Circulateur, 8-Régulateur, 9-sonde de température, 10-sonde de ballon, 11-Echangeur, 12-Chaudière d'appoint.

2. Différents types de chauffe-eau solaire

Il y a trois types des chauffe eau solaires sont :

2.1 Chauffe-eau solaire à circulation forcée

C'est un système particulièrement prisé, pour une bonne raison, c'est qu'il peut s'installer dans la plupart des habitations, et quelle que soit leur configuration (figure (1-2)). Les

éléments sont séparés, et le ballon peut être placé où on le désire, que ce soit à la cave, dans une buanderie, dans les combles, au garage, ou à la salle de bains. C'est le système le plus coûteux, car il nécessite la présence d'une pompe électrique, et généralement d'un régulateur thermique. C'est également le dispositif le plus fragile, même si généralement le matériel est très solide, on n'est pas à l'abri d'une panne.

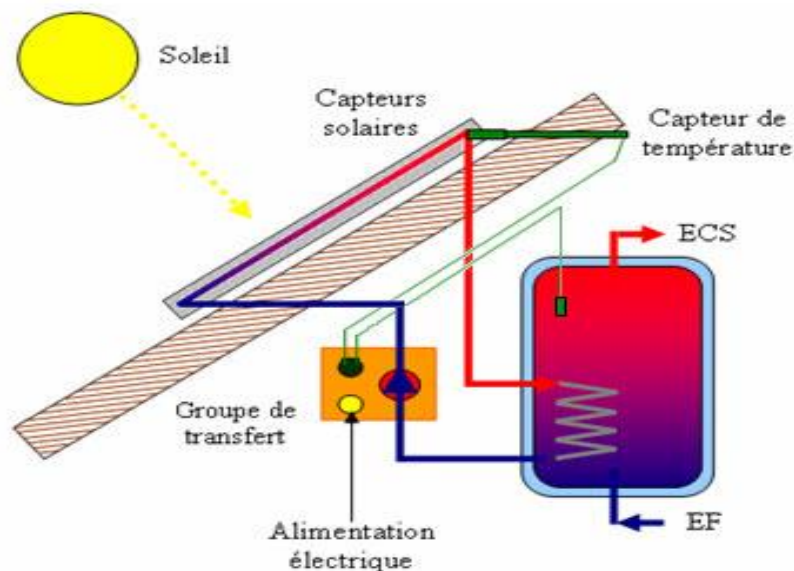


Figure (1-2) Chauffe-eau solaire à circulation forcée

2.2 Chauffe-eau solaire à thermosiphon

C'est généralement la meilleure solution d'un point de vue qualité prix. L'installation est plus complexe, parce que le ballon doit toujours être à une hauteur plus élevée que les panneaux solaires (figure (1-3)). On placera donc généralement le ballon dans les combles lorsque les panneaux seront sur la partie la plus basse du toit, ou bien en façade. C'est un système qui fonctionne sans pompe, l'eau remonte naturellement des panneaux jusqu'au ballon lorsqu'elle est chaude, et elle redescend en refroidissant. C'est donc moins coûteux en terme de matériel, il n'y a pas d'entretien ou presque, et la panne est quasiment impossible.

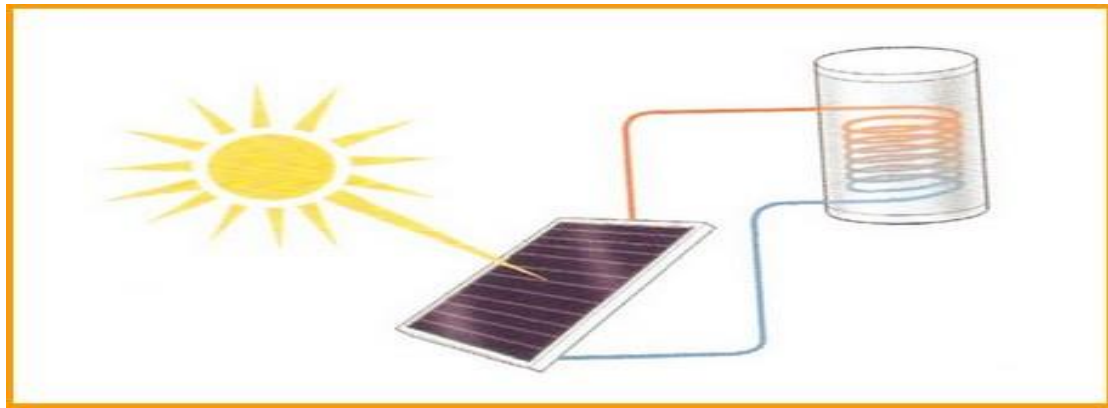


Figure (1-3) Chauffe-eau solaire à thermosiphon

2.3 Chauffe-eau solaire monobloc

C'est un dispositif qui reprend le même système de fonctionnement qu'un chauffe-eau à thermosiphon. La différence est que tout le système est placé dans le même châssis (figure (1-4)). C'est le dispositif le moins coûteux généralement, notamment en terme de pose. Il peut d'ailleurs être placé directement au sol, dans un jardin bien ensoleillé. En revanche, le ballon reste toujours à l'extérieur, et il est alors plus difficile de conserver l'eau à bonne température, notamment en hiver. C'est donc un dispositif que l'on utilisera plutôt en solution complémentaire d'un autre système.

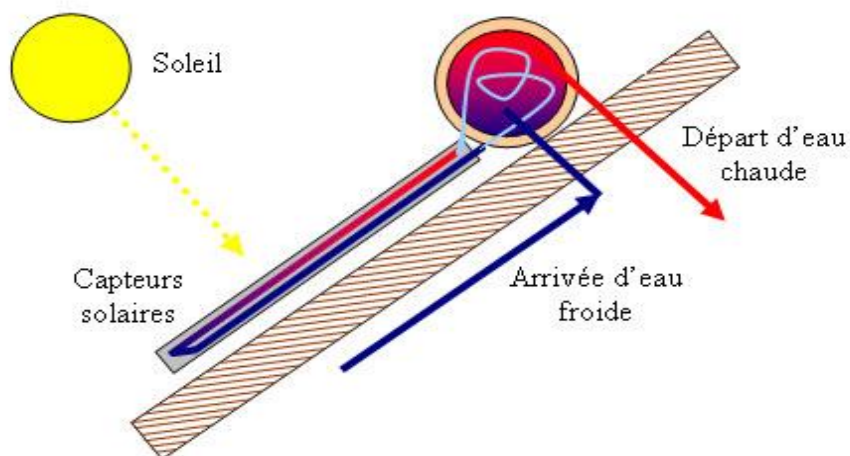


Figure (1-4) Chauffe-eau solaire monobloc.

3. Composants d'un chauffe-eau solaire

Un chauffe-eau solaire est composé principalement de deux éléments:

- Le ballon de stockage.
- Le capteur solaire.

Auquel sont rajoutés d'autres composants à savoir : les conduites de circuit, une pompe, un clapet anti-retour, une vase d'expansion, une soupape de sécurité, les robinets de vidange, les purgeurs et un régulateur.

3.1 Ballon de stockage

Sauf cas spécifique (surface de capteur inférieure à 20-30m²), les ballons de stockage sont des ballons type "tampon ECS" (figure (1-5)) dépourvus d'échangeurs de chaleur incorpore. En effet, pour des raisons de coût et de performances, des échangeurs à plaques sont préconisés pour transférer l'énergie à l'eau chaude sanitaire.

Pour certaines applications, ou plus spécialement certaines implantations des ballons de stockage avec des températures basses, on utilise des ballons avec échangeur interne pour éviter les risques de gel dans les canalisations et dans l'échangeur à plaques. Dans ce cas, les canalisations d'eau froide et d'eau chaude doivent être isolées efficacement. Une attention particulière est portée à la tenue en température des ballons d'eau chaude sanitaire.

Certains produits sont garantis uniquement si la température de stockage est inférieure ou égale à 60°C. Tenue en température minimale de 80°C est nécessaire pour les ballons de stockage solaire.



Figure (1-5) : Ballon de stockage d'un CES

3.2 Capteur solaire

Les capteurs solaires thermiques (Figure (1-6)) constituent l'élément essentiel dans les installations de conversion thermique de l'énergie solaire.

Le rayonnement solaire est absorbé par une surface noire, parcourue par un fluide caloporteur qui extrait l'énergie thermique et la transfère vers son lieu d'installation ou de stockage.

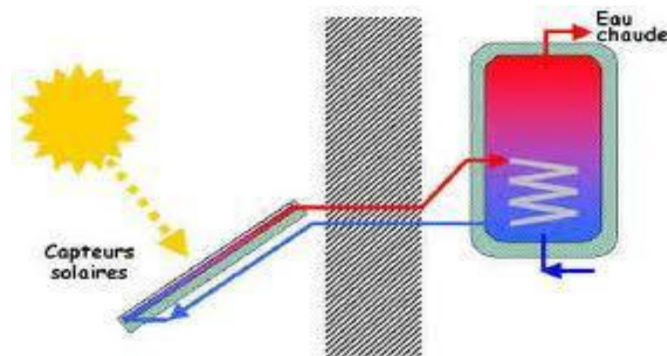


Figure (1-6) Capteur solaire thermique

4. Les autres composants d'un chauffe-eau solaire

4.1 Les conduites de circuit

Habituellement, les matériaux utilisés pour les tuyauteries sont des tubes en cuivre ou des tubes en acier simple. Des systèmes complets comprenant les tuyauteries allées et retour ainsi que le câble pour la sonde de température de capteur et l'isolation (figure (1-7)). Ce système de la tuyauterie permet un gain de temps à l'installation. Les tuyauteries du circuit primaire ont intérêt à être isolée de manière à limiter les pertes de chaleur entre les collecteurs et le ballon de stockage.

L'isolation de ces systèmes ne peut en aucun cas être réalisée au moyen d'isolant pour les tuyauteries sanitaires habituelles, car il est indispensable de tenir compte des températures, auxquelles celles-ci seront explorées, l'isolant habituellement utilisé peut résister à une température continue de 150 à 180 °C.



Figure (1-7) Conduites de liaison isolées

4.2 Une pompe (circulateur)

Le rôle du circulateur est d'assurer la circulation du fluide caloporteur dans la boucle solaire, les circulateurs utilisés dans les installations de chauffage centrale avec radiateur (résistant à des températures pouvant atteindre 120°C) conviennent normalement aussi pour les installations avec chauffe-eau solaire.



Figure (1-8) Le circulateur

4.3 Le clapet anti-retour

Le clapet anti-retour a pour fonction d'empêcher, dans les systèmes sans vidange qu'un effet de thermosiphon n'entraîne une inversion du circuit primaire en cas d'arrêt de la pompe.



Figure (1-9) Clapet anti-retour

4.4 Vase d'expansion

La vase d'expansion doit permettre l'expansion du fluide caloporteur et permettre d'absorber le volume de ce dernier expulsé du capteur solaire lorsqu'un phénomène d'ébullition survient, et cela sans hausse excessive de la pression.



Figure (1-10) Vase d'expansion.

4.5 Soupape de sécurité

La soupape de sécurité sert à limiter la pression maximale dans le circuit primaire, les soupapes de sécurité sont constituées d'un boîtier en laiton et peuvent être associée à un manomètre, habituellement les soupapes de sécurité ont des pressions d'ouverture de 4 à 6 Bars.



Figure (1-11) Soupape de sécurité

4.6 Les robinets de vidanges

Des robinets de vidange et de remplissage devront être placés au point le plus bas du circuit solaire et sur l'arrivée d'eau froide afin de pouvoir effectuer la vidange complète de l'installation.



Figure (1-12) Robinet de vidange

4.7 Les purgeurs

Les purgeurs permettant à l'air de s'échapper des tuyauteries, ce qui se produit lors de remplissage et le cas échéant ultérieurement en cours de fonctionnement de l'installation, les purgeurs doivent être disposés aux points les plus élevés de l'installation, le purgeur est uniquement prévu pour les installations sans vidange. On utilise exclusivement des purgeurs à commande manuelle ou des purgeurs automatiques (verrouillés) lors du fonctionnement normal de l'installation.



Figure (1-13) Purgeur automatique

4.8 Le régulateur

Dans une installation solaire thermique, une régulation minimale est nécessaire (Excepté pour les systèmes à thermosiphon) afin de réguler le processus d'échange de chaleur entre le

capteur et le réservoir de stockage. C'est pourquoi dans tous les cas, une régulation différentielle est utilisée.

Le principe de base de la régulation d'une installation de production d'eau chaud sanitaire solaire est simple. Deux sondes sont nécessaires : une première sonde située dans les capteurs solaires, une autre sur le retour vers les capteurs à la sortie du ballon de stockage de l'eau sanitaire, cette régulation est basée sur le principe d'un circuit intégré comparateur [1]

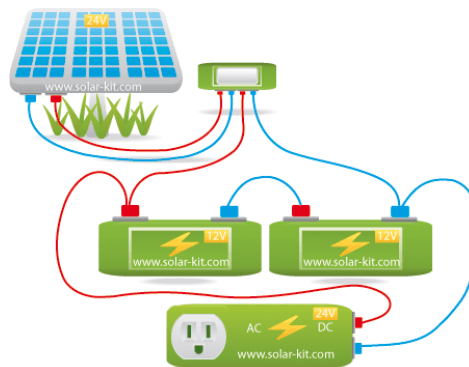


Figure (1-14) Le régulateur

5. Les différents types de capteur solaire

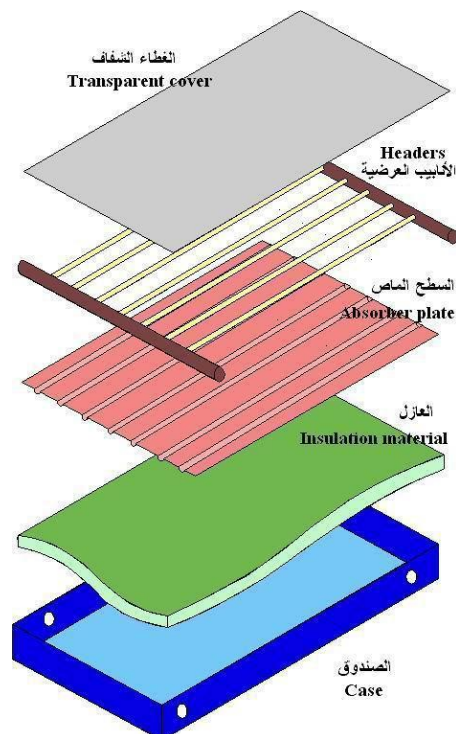


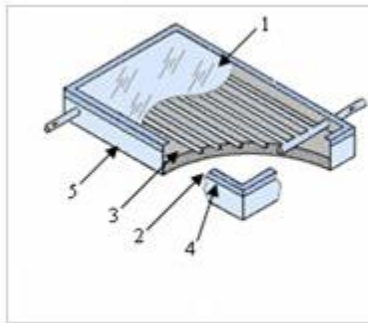
Figure (1-15) Composants de capteur solaire.

5.1 Capteur plan vitré

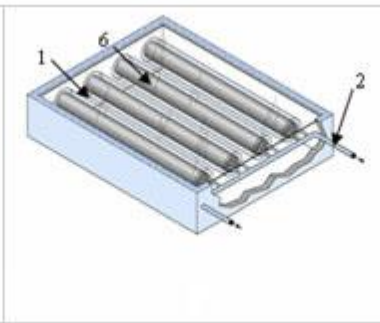
Le capteur plan solaire le plus couramment utilisé, comprend un coffre isolant, à l'intérieur duquel est disposé un verre transparent (1), une feuille métallique noire, appelé absorbeur (2), constitué de tuyaux dans lesquels circule le fluide caloporteur (3), en contact avec cette surface absorbante est intégré un isolant aussi bien à l'arrière (4) que sur les côtés pour (4), afin de réduire les déperditions thermiques, l'ensemble est monté dans un boîtier (5) en aluminium.

La plupart des capteurs plans vitrés permettent des gains de température allant jusqu'à 70°C par rapport à la température ambiante et sont de ce fait parfaitement adaptés à la production d'eau chaude sanitaire.

Capteur plan vitré.



Capteur sous vide.



Capteur plan sans vitre.



5.2 Capteurs sous vide

Le capteur sous vide, est constitué d'une série de tubes de verre sous vide à l'intérieur desquels se trouve un absorbeur avec un circuit hydraulique, qui capte l'énergie solaire et la transfère au fluide caloporteur. Grâce aux propriétés isolantes du vide, les déperditions de chaleur sont faibles. Ainsi, on peut obtenir des gains de température de 100°C et plus. Ce type de capteur est particulièrement bien adapté aux applications nécessitant des hautes températures.

5.3 Capteur plan sans vitrage

Ces capteurs simplifiés sont généralement constitués d'un absorbeur noir en matière synthétique sans coffre ni couverture transparente. Ils sont particulièrement adaptés aux besoins de chauffage des piscines où l'augmentation de température par rapport à la température ambiante est faible.

6. L'appoint énergétique

Un chauffe-eau solaire ne peut pas fournir de l'eau chaude en cas de faible ensoleillement, dans ce cas, il faut se servir d'un chauffage d'appoint utilisant une source d'énergie conventionnelle (gaz, fioul, électricité, bois). Cependant:

- Le fonctionnement du chauffage d'appoint ne doit pas réduire le rendement de chauffe-eau solaire et la priorité doit être donnée à l'énergie solaire toujours.

- Le ballon de stockage aura besoin d'une bonne isolation thermique afin de conserver l'énergie solaire au mieux et réduire le recours au chauffage d'appoint.

- Un voyant doit montrer que le chauffe-eau solaire marche correctement, sinon, l'eau chaude pourrait être fournie exclusivement par l'appoint sans que l'utilisateur se rende compte.

Lorsque on étudie les besoins globaux en énergies et ceux de l'apport solaire pour un chauffe-eau, la situation paraît favorable, puisque les besoins en eau chaude sont a priori constante tous au long de l'année la illustre un exemple de l'apport solaire et de l'énergie d'appoint pour une maison de 4 personnes en zone méditerranéenne, avec 4mètres carré de capteurs, et un ballon de 200litres, où la consommation d'énergie peut être réduite jusqu'à la moitié pendant les mois les plus défavorable : [4].

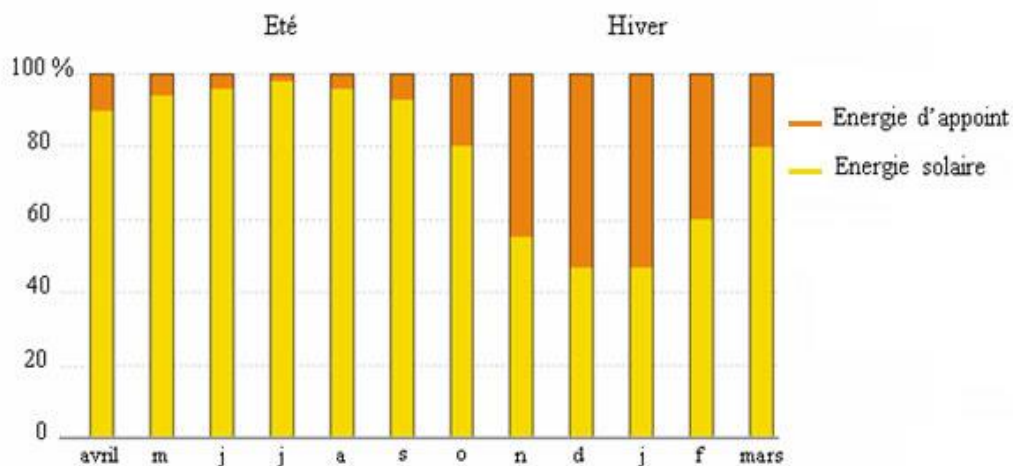


Figure (1-16) : La moyenne mensuelle de la production d'un chauffe-eau solaire et de l'appoint

Il existe plusieurs types de chauffage d'appoint:

6.1 L'appoint intégré

Dans ce cas l'installation ne dispose que d'un seul ballon, pour vue de deux échangeurs, l'un récupère l'énergie solaire et chauffe d'abord l'eau située en partie basse du ballon "circuit capteurs". L'autre échangeur; qui peut être une résistance électrique ou provenant d'une chaudière à gaz, situé en partie haute, apporte le complément d'énergie nécessaire à l'obtention du degré recherché.

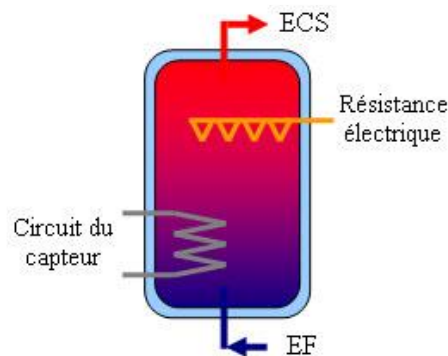


Figure (1-16) L'appoint électrique.

6.2 L'appoint séparé

Le nombre de jours qu'un chauffe-eau solaire puisse fonctionner sans appoint varie surtout avec le climat, mais aussi suivant le dimensionnement de l'installation par rapport aux besoins, l'appoint séparé peut être envisagé dans certains cas, généralement quand un ballon de stockage existe déjà, cette configuration comporte alors deux ballons de stockage et deux échangeurs de chaleurs.

6.3 L'appoint en série

On peut envisager l'installation d'un chauffe-eau solaire en série avec un chauffe-eau électrique conventionnel (existant ou neuf), l'eau chaude solaire pourrait servir directement ou transiter par le chauffe-eau électrique. Si nécessaire, le chauffe-eau électrique servira comme appoint et pourrait augmenter la température de l'eau préchauffée par le soleil.

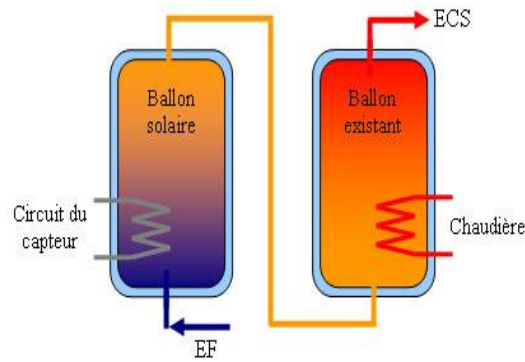


Figure (1-17) L'appoint en série.

7. Efficacité d'un chauffe-eau hybride solaire/gaz

Dans un système de chauffe-eau hybride solaire/gaz où des capteurs solaires sont utilisés en conjonction avec un chauffe-eau à gaz, le chauffage partiel de l'eau fourni par l'entrée solaire réduit la valeur de différence de température moyenne logarithmique pour le chauffe-eau à gaz, l'efficacité du brûleur à gaz. Étant donné que cette réduction de l'efficacité varie en fonction de la quantité de préchauffage fournie par le rapport d'énergie solaire, il est difficile de prédire avec précision les coûts réels et les économies d'énergie offertes par les chauffe-eau hybrides solaires/gaz dans différents scénarios climatiques. Par conséquent, pour prévoir les économies d'énergie et de coûts réels dans diverses conditions de conception, les performances des systèmes hybrides solaires/gaz doivent être mieux comprises [5].

Le pourcentage d'énergie de chauffage de l'eau nécessaire à un ménage fourni par les capteurs solaires est quantifié en termes de fraction solaire. Pour une zone de capteur donnée, la fraction solaire varie principalement avec la quantité de rayonnement solaire incident. En raison de la variation diurne et saisonnière de l'énergie solaire disponible, une source de chauffage auxiliaire est généralement nécessaire pour fournir un chauffage d'appoint chaque fois que l'énergie solaire ne répond pas à la demande d'énergie.

Dans un système de chauffe-eau hybride solaire/gaz où le capteur solaire est utilisé en conjonction avec un appareil de chauffage au gaz, le chauffage partiel du fluide de procédé fourni par l'apport solaire réduit la valeur de la différence log-moyenne de température pour le chauffe-eau à gaz, réduisant l'efficacité du brûleur à gaz. Par conséquent, une efficacité globale du système plus faible que prévu peut être observée lors du fonctionnement d'un système de chauffage d'eau hybride solaire/gaz en mode combiné solaire/gaz [6]

Chapitre 2



Introduction

Dans plusieurs pays, les systèmes de chauffage solaire de l'eau (CES) jouent un rôle majeur dans le chauffage de l'eau. Cependant, bien que le Brésil ait un grand potentiel pour cette technologie, l'utilisation des systèmes CES est encore modeste par rapport aux pays avec des niveaux d'irradiation beaucoup plus faibles, comme la Chine et l'Allemagne, les leaders mondiaux du déploiement de systèmes CES.

Cela devient plus pertinent dans des scénarios avec des prix de l'électricité plus élevés, des restrictions d'approvisionnement en électricité et des préoccupations croissantes concernant l'atténuation du chan. Il existe un grand nombre d'études sur les systèmes CES en ce qui concerne leur potentiel technico-économique. Par exemple, a procédé à une évaluation financière des systèmes de CES par le biais d'une analyse coûts-avantages dans le secteur résidentiel d'Islamabad, au Pakistan; utilise une analyse de sensibilité multiparamétrique pour évaluer la performance de 192 scénarios CES techniques pour la ville de Brisbane, Australie; segmenté le Maroc en six zones climatiques pour évaluer la faisabilité technique des systèmes CES dans les conditions marocaines. [7]

Les entreprises chinoises ont fabriqué 28 millions de mètres carrés de système en 2009, soit plus de 80% de la production mondiale d'eau chaude sanitaire/chauffage. Hormis la Chine, l'Allemagne, la Turquie, le Brésil et l'Inde sont en tête du marché de l'eau chaude solaire. L'Union européenne (UE) utilise la majeure partie de la capacité totale installée de CES restante. L'Allemagne a marqué un record en 2008 avec une capacité CES estimée à environ 1,1 GW, mais les nouvelles installations étaient légèrement inférieures en 2009.

De même, le gouvernement du Brésil a ciblé une réduction de plus de 1000 MW d'installations énergétiques supplémentaires d'ici à 2015 grâce au lancement de systèmes CES.. En moyenne, environ 20 000 systèmes CES sont installés chaque année en Inde. En revanche, la capacité du marché intérieur américain est encore relativement faible par rapport au reste du monde mais elle augmente. Le marché des CES est également en expansion dans les pays d'Afrique, tels que l'Éthiopie, le Kenya, l'Afrique du Sud, la Tunisie et le Zimbabwe. La Palestine a la capacité d'installation la plus élevée parmi les pays de la région du Moyen-Orient et de l'Afrique du Nord. La capacité représentait 68% de tous les ménages qui installaient régulièrement des CES dans les nouveaux bâtiments de cette région.

Comme discuté ci-dessus, bien que les systèmes CES aient un énorme spectre, seule une

fraction de l'utilisation possible projetée a été réalisée. La figure 2 montre le pourcentage global du système CES installé dans le monde dans différentes régions. En 2010, la capacité totale installée des systèmes CES et des systèmes de chauffage des locaux a augmenté d'environ 16%, atteignant seulement environ 185 GW d'énergie thermique dans le monde. Comme prévu, les besoins énergétiques d'ici 2030, soit environ 0,6% de terres supplémentaires, seront nécessaires pour 10% de systèmes de conversion solaire efficacité.

En général, la technologie CES est considérée comme une technologie arrivée à maturité qui a atteint la commercialisation. Pourtant, il existe plusieurs possibilités d'améliorer encore les performances du système.

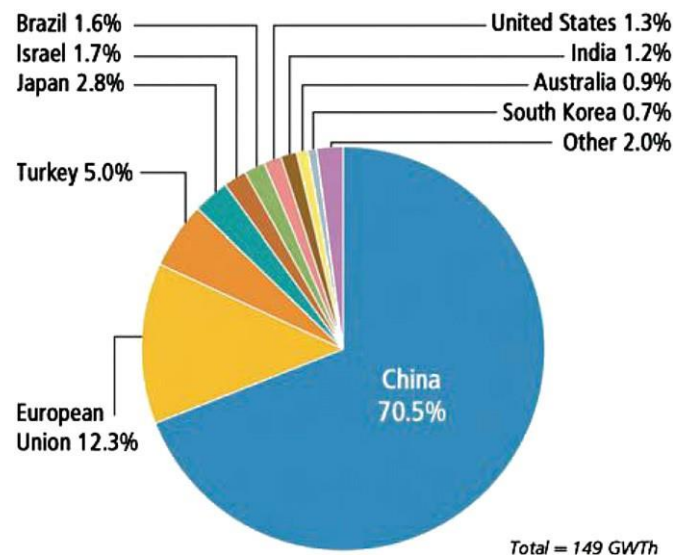


Figure. (2-1) Chauffage solaire de l'eau chaude, capacité existante
(10 principaux pays)[8]

1. Évaluation technico-économique des systèmes CES

Le potentiel de toute technologie renouvelable dépend de l'évaluation appropriée de la planification et de la promotion du système auprès des utilisateurs finaux. Une méthode pour évaluer le potentiel du marché du chauffage de l'eau domestique a été présentée par Voinvontas. La méthode est basée sur un système d'information géographique (SIG) dans le secteur domestique de la Grèce.

Le modèle a pris en considération les paramètres associés à la variabilité géographique qui ont influé sur le rayonnement solaire et les besoins en énergie pour la zone spécifiée. La

taille de la population et le nombre de familles ont fortement influencé la demande d'énergie dans les utilisations résidentielles de l'énergie. Le modèle discuté ci-dessus donne un aperçu spécial des économies d'énergie et des bénéfices qui pourraient être obtenus d'un déploiement à grande échelle de systèmes de chauffage d'eau domestique. Le modèle prend en compte deux principaux facteurs financiers, le coût de production d'électricité et la valeur actuelle nette de l'investissement. Pour la Grèce, sur la base de l'installation actuelle de systèmes de chauffage d'eau domestique (106 m² de surface collectrice), il a été estimé une économie d'énergie d'environ 1200 GWh/an. L'étude montre en outre qu'il est possible d'augmenter les économies d'énergie à environ 3169 GWh/an, si les 75% environ des foyers installent les systèmes CES. Actuellement, ce modèle est utile pour analyser la variation de la demande d'énergie avec les écarts temporels du rayonnement solaire. Cependant, il était limité uniquement au secteur domestique et ne tenait pas compte de la variation de la charge. Un modèle typique de charge d'eau chaude sanitaire a été analysé par Mutch. Comme prévu, la demande d'eau chaude le matin et le soir était généralement plus élevée que le reste de la journée. Pour supporter les fractions importantes de ces charges, l'eau chauffée par l'énergie solaire doit être stockée un jour avant la consommation. Des variations mineures de différences temporelles sur les schémas de charge n'ont pas d'impact majeur sur les performances des systèmes ESC. Cependant, les variations de la demande de pointe pendant les fermetures de week-end des bâtiments commerciaux peuvent avoir une influence significative sur la performance du chauffe-eau et ses paramètres de conception optimaux.

Les évaluations technico-économiques jouent un rôle important dans l'établissement d'une stratégie de marché solide pour les systèmes de chauffe-eau solaires et persuadent également les informations nécessaires aux décisions de politique énergétique. Chandrasekar et Kandpala développé un nomographe complet pour déterminer le nombre potentiel de ménages qui peuvent utiliser des systèmes de chauffage à eau en Inde.

Des facteurs tels que :

- La disponibilité d'heures d'ensoleillement sans ombre.
- La disponibilité de l'espace.
- La connaissance pratique du fonctionnement du système.
- Le coût du système CES.

Les contraintes financières et la motivation jouent un rôle dans la mise en place de systèmes

de chauffage à eau dans les bâtiments résidentiels. Un cadre simple pour l'évaluation financière des systèmes CES a également été développé, qui prend en compte

- La valeur actuelle nette du système.
- Le rapport avantages/coûts.
- Le taux de rentabilité interne.
- La période de récupération.

Sur la base d'une enquête approfondie, l'étude signale que les coûts d'exploitation et de maintenance du système ainsi que l'utilisation de la capacité jouent un rôle clé dans la pénétration de cette technologie solaire de l'eau sur le marché intérieur. Le modèle discuté ci-dessus a présenté des données pour évaluer l'utilisation des systèmes CES en Inde. En utilisant certaines de ces entrées, Pillai et Banerj développé une méthodologie pour estimer le potentiel des systèmes CES pour l'Inde, en tenant compte à la fois des intrants au niveau micro et macro comme indiqué dans figure (2-2)

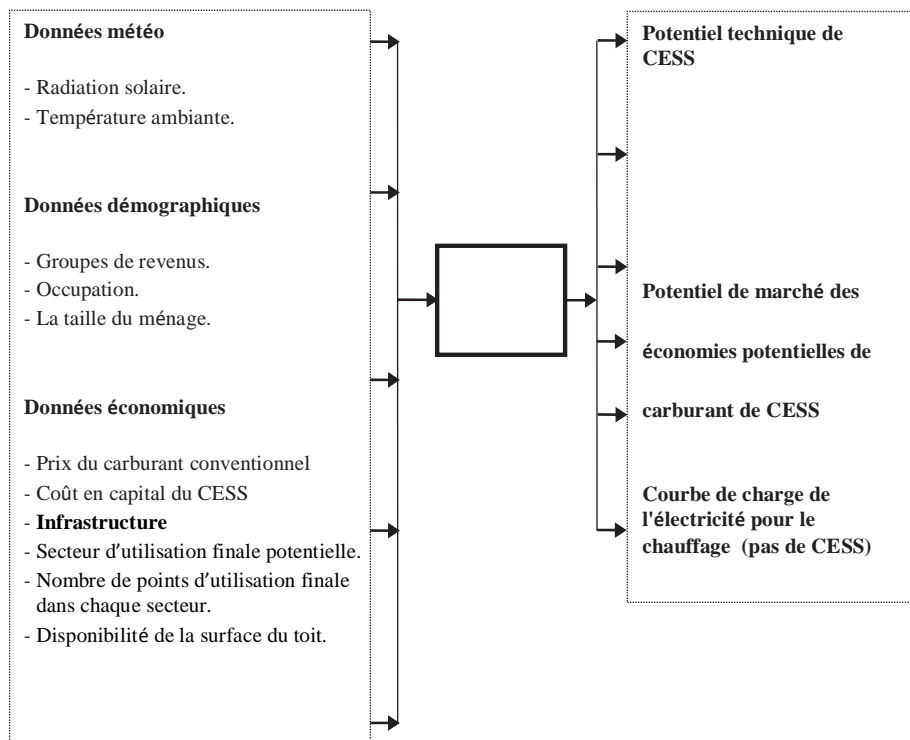


Figure. (2-2) Paramètres d'entrée et de sortie pour la modélisation de l'approximation potentielle du système de CES.

La méthodologie était basée sur l'utilisateur final, et par conséquent, les utilisations finales de la zone cible étaient initialement identifiées et classées en fonction du secteur

d'application. Le potentiel a ensuite été estimé pour chaque type d'utilisation finale en fonction de son profil d'utilisation de l'eau chaude et d'autres micro-facteurs de niveau. Comme étude de cas, la méthodologie développée a été mise en œuvre dans une zone résidentielle cible de 2 km² qui comprenait des hôpitaux, des hôtels et des maisons de soins infirmiers. L'étude a indiqué qu'avec l'installation de systèmes CES (~ 1700 m² de surface collectrice), cela pourrait entraîner une économie potentielle de 1,1 million de kWh d'électricité par an. Le potentiel technique, le potentiel économique et le potentiel de marché estimés (sans chauffage d'appoint) sont respectivement de 1700 m², 1540 m² et 300 m² de surface collectrice. Le cadre proposé est de nature générique et fournit des informations précises sur le système CES requis pour n'importe quel domaine spécifique et désormais, les décideurs politiques pourraient l'utiliser comme un outil pour suivre et promouvoir les systèmes CES à l'échelle nationale.

Une autre méthode simple évaluer l'efficacité des systèmes CES, c'est évaluer les économies d'énergie par le produit du SF et le nombre de bâtiments intégrés CES. Denhol a publié un détail sur le potentiel technique de CES pour réduire l'utilisation des combustibles fossiles et les émissions de gaz à effet de serre aux États-Unis. Plusieurs facteurs techniques ont été étudiés pour évaluer la faisabilité des systèmes ESC:

- L'orientation des toits des maisons.
- La taille minimale des toits.
- La fraction d'ombre recouvrant le capteur solaire.
- La capacité de fournir de l'eau chaude selon la demande.

Il a également été signalé d'autres facteurs non techniques connexes:

- L'estimation des coûts des CES.
- L'esthétique.
- Les codes du bâtiment locaux.
- Le pourcentage de bâtiments utilisés par les locataires.
- Ordonnances.

L'étude a fait état du potentiel technique actuel aux États-Unis est estimée à environ 1 quad (1,055 ~ 1018 J) d'économies d'énergie primaire par an. Pour mettre en œuvre l'analyse coûts-avantages plus efficacement, Pan et al. A proposé le concept du nombre de jours solaires effectifs et du rayonnement solaire effectif (ESR) au lieu d'utiliser le paramètre de

rayonnement solaire annuel total qui peut surestimer la quantité d'avantages énergétiques. Le calcul de l'ESR était basé sur la température de l'eau du robinet et l'ensoleillement pour chaque région de Taiwan afin de déterminer l'applicabilité du CES. Ce modèle a estimé les ratios ESR/rayonnement solaire annuel total dans une fourchette de 82 à 89%, et les périodes de récupération de 6 à 15 ans, pour différentes régions géographiques de Taïwan.

La méthode f-charte populaire et les données démographiques d'une région cible peuvent également être utilisées pour évaluer les économies d'énergie estimatives dues à l'installation de systèmes domestiques de CES. Les bénéfices financiers peuvent être estimés à l'aide d'indices économiques et le potentiel de profit de la fabrication peut être estimé en comparant tous les coûts et avantages économiques liés aux CES. Ces coûts comprenaient les coûts de matériaux et de main-d'œuvre ainsi que les taxes. Prix du marché des produits CES dépendent généralement de la taille du système, de sa marque et du lieu d'achat. [9]

2. Tendances à la réduction des coûts dans les systèmes CES.

Dû à la faisabilité technologique et à la viabilité économique entre diverses autres applications, les systèmes CES sont l'un des systèmes les plus populaires d'utilisation de l'énergie solaire comme source d'énergie. Il existe de nombreuses applications à basse température pour diverses utilisations finales, telles que la production d'eau chaude domestique, le chauffage/refroidissement des locaux, les bâtiments commerciaux, les hôtels, les écoles, le chauffage de piscine, la chaleur industrielle, le chauffage urbain assisté par énergie solaire, le dessalement et séchage des cultures.

Les technologies CES sont déjà bien développées et peuvent être facilement commercialisées à des prix considérablement bas. Une comparaison du coût et des caractéristiques typiques des systèmes CES utilisés par le marché américain. Du point de vue de l'utilisation de l'énergie, Xiaowu et Ben conduite une analyse énergétique basée sur la «théorie des trois procédures» dans laquelle trois sous-procédures, telles que la procédure de conversion, la procédure d'utilisation et la procédure de recyclage sont étroitement liées. Pour fournir une bonne évaluation de l'économie de coûts du système et pour augmenter l'efficacité du CES à l'échelle nationale, une analyse exégétique du système a également été réalisée. Cette aide à déterminer les pertes exégétiques et à identifier le composant le plus inefficace de tout système CES. L'étude a rapporté que le réservoir de stockage est l'unité la plus faible et a suggéré pour maintenir la stratification dans le réservoir, pour minimiser les pertes.

Excepté les usages domestiques, l'eau chaude et la vapeur sous pression sont utilisés pour des applications industrielles. Le coût du système CES industriel varie en fonction de la capacité thermique, de la commodité de stockage et des exigences de pression du système. Un autre marché en croissance pour CES est le secteur du bâtiment commercial. De nombreuses politiques gouvernementales sont maintenant en place pour promouvoir les unités solaires à des fins domestiques courantes, telles que le chauffage de l'eau, le chauffage des locaux et les applications de refroidissement. Pour répondre à ces dépendances, les produits à énergie solaire doivent être fabriqués à un rythme proportionné. Cependant, les politiques adoptées ont pour objectif d'atteindre 20 à 30% des utilisations potentielles à l'avenir.

Le coût total du système CES, qui comprend les coûts associés à la fabrication jusqu'au stade de l'installation, est influencé par divers facteurs, tels que :

- Les coûts liés à l'expertise technique.
- La main-d'œuvre pour l'installation.
- Le coût des capteurs solaires thermiques.
- Les coûts structurels de montage des baies.
- Des fournitures de plomberie, des pompes, enregistreur de données, , contrôleur et autres coûts liés à l'espace.

Les subventions de remboursement du gouvernement ont également un impact sur la pénétration du marché des systèmes CES. Selon la politique énergétique des États-Unis: 2005 (chapitre 1335), un crédit d'impôt s'élevant à 30% du montant total de l'achat de CES qualifiés. Ce crédit s'applique également pour couvrir les coûts associés à l'équipement et les coûts de main-d'œuvre liés à l'installation, à la tuyauterie et au câblage Administration de la sécurité sociale (SSA) et administration des services généraux (GSA) à Philadelphie, leur composant de chauffage auxiliaire du système CES est passé du mazout et du gaz naturel au rayonnement solaire principalement en raison des prix élevés du gaz. En tant qu'approche alternative, cette conception rentable pourrait offrir des avantages en évitant des réservoirs et des tuyaux supplémentaires pour le système de préchauffage des collecteurs à plaques planes. L'utilisation de capteurs à tubes sous vide a rendu le système possible avec une boucle de recirculation de CES sur le toit du bâtiment. La modification du système existant par le réchauffage du système de chauffage de l'eau pourrait être un autre moyen alternatif de mettre en œuvre des rétro fits rentables des systèmes CES sur les bâtiments

commerciaux existants. Cette modération pourrait à son tour accroître la pénétration sur le marché de ce type de système CES.

Chapitre 3

*Dimensionnement
D'un chauffe-eau
hybride solaire/gaz*

1. Méthodes de dimensionnement des chauffe eau solaire

1.1 Première méthode de dimensionnement

Un système solaire devient inefficace lorsque la température d'opération devient trop élevée, il serait donc important de bien calculer la surface de capteur et le volume de stockage en fonction des paramètres suivant : l'ensoleillement disponible, la charge d'eau chaude (volume et température), la répartition des besoins. Les ingénieurs solarisés ont très souvent recours à des outils informatiques ou abaques pour déterminer les performances de CES, afin d'optimiser leur conception. Nous allons dans cette rubrique, présenter des méthodes de calcul qui nous permettront de dimensionner de tels systèmes et d'éviter des erreurs [10].

1.1.1 Première étape du dimensionnement

➤ Détermination des besoins en énergie calorifique

Les besoins en énergie calorifique (Be_{cs}) exprimés en (kWh/jr) sont donnés par :

$$B_{ecs} = 0.0011611 \times V_{ecs} \times (T_C - T_F) \times K_p \quad (1)$$

Et :

$$V_{ecs} = I_p \times N \times v$$

Avec :

T_c : température d'eau chaude (°C)

T_f : température d'eau froide (°C)

I_p: nombre de personne par logement

N: nombre de logement de l'habitation

V: volume par jour et par personne (l/jr)

K_p : coefficient de perte de l'installation qui varie entre 1 et 1.3

1.1.2 Deuxième étape du dimensionnement

➤ Détermination de la surface de capteur solaire

La surface requise (S) de capteur exprimée en (m^2) et donne par :

$$S = \frac{F \times B_{ecs}}{E' \times \eta} \quad (2)$$

Avec :

η : le rendement de tout le système 45%

E' : L'ensoleillement quotidien du mois le moins ensoleillé de l'année ($kWh/m^2/jr$)

F : la fraction des besoins couverts pendant le mois le moins ensoleillé 80%

1.1.3 Troisième étape du dimensionnement

➤ Détermination du volume de stockage

Le volume de stockage V (litre) est évalué à partir de la formule :

$$V = 365 \times E \times \frac{S}{\Delta T} \quad (3)$$

Avec :

E : l'ensoleillement quotidien du meilleur mois de l'année ($kWh/m^2/jr$).

365 : le nombre de jour de l'année.

S : surface de capteur solaire (m^2).

$\Delta T = (T_c - T_f)$: température de l'eau chaude et la température de l'eau froide en ($^{\circ}C$).

1.2 Evaluation annuelle d'énergie d'un CES

➤ Calcul de l'énergie utilisable

L'énergie totale Q_u reçue par les capteurs exprimée en (kWh/m^2) est donnée par la relation :

$$Q_u = K \times H \quad (4)$$

Avec :

K : facteur d'inclinaison qui dépend de la latitude et de l'inclinaison du capteur.

H : irradiation horizontale moyenne annuelle (kWh/m^2).

➤ **Calcul de la valeur effective de l'énergie utile ou utilisable**

C'est la valeur de l'énergie effectivement utilisée par le capteur. Elle est exprimée en (kWh/m²) et donnée par l'expression :

$$Q_u' = K \times H \times 0.94 \quad (5)$$

Elle représente 94% de l'énergie utilisable car il faut tenir compte du fait que, lorsque l'irradiation solaire incidente est inférieure à une valeur limite déterminée (environ 200 W/m²) il n'y a pas d'énergie qui soit utilisée étant donné l'absence de circulation dans le capteur. Cette énergie non utilisée représente donc environ 6% de Q_u .

➤ **Calcul de l'énergie non utilisée**

L'énergie non utilisée est exprimée en (kWh/m²) et donnée par la relation suivante [11] :

$$Q_{nu} = 6\% \times Q_u \quad (6)$$

➤ **Calcul de l'intensité utile**

L'intensité qui influe sur les capteurs varie tout au long de la journée et est exprimée en (W/m²). Sa valeur moyenne est déterminée par l'expression :

$$I_u = \frac{Q_u}{n} \quad (7)$$

Avec :

n : le nombre moyen d'heures d'ensoleillement quotidien utiles (on fixe en général 8 heures)

➤ **Énergie d'appoint**

L'énergie de l'appoint est donnée par la relation suivante :

Puissance d'appoint = besoin journalier - apport solaire

➤ **Calcul de la puissance totale quotidienne utilisable**

Le calcul est effectué comme les présentes l'équation suivant :

$$W = \eta' \times S \times I_u \quad (8)$$

Son résultat s'exprime en (kW), avec :

η' : Le rendement de capteur

I_u : Intensité moyenne utile exprimée en (W/m²)

➤ **Calcul de l'énergie nette annuelle disponible pour la consommation**

Elle se calcule par :

$$Q_1 = W \times 365 \times n \times \psi \quad (9)$$

Avec :

Q_1 : énergie nette annuelle disponible (kWh/an).

ψ : fraction de l'énergie disponible pour la consommation (en %).

$365 \times n$: nombre moyen d'heures annuelles de soleil utile (en h).

➤ **Calcul des besoins énergétiques annuels ou besoins d'eau chaude annuels**

Les besoins énergétique annuels se calculent comme à la première étape, à la différence qu'ici on voudrait obtenir les besoin énergétique de toute l'année. Exprimées en (kWh/an) on l'obtient par la relation :

$$Q_{an} = 365 \times B_{ecs} \quad (10)$$

➤ **Détermination de l'apport solaire (%)**

Il est le pourcentage du total des besoins en énergie thermique couvert par les capteurs et est égal à :

$$A_{\%} = \frac{Q_1}{Q_{an}} \quad (11)$$

1.2 Deuxième méthode de dimensionnement

1.2.1 Évaluation des besoins en énergie calorifique

$$Q_j = 0.00116 \times V_{ecs} \times (T_c - T_f) \quad (12)$$

Sa valeur annuelle exprimée en (kWh/an) est :

$$Q_{an} = Q_j \times 365 \quad (13)$$

Sa valeur effective tient compte des pertes liées à la longueur, la nature de l'isolant et de la tuyauterie. Elle est exprimée en (kWh/an) et se détermine par la formule :

$$Q_{eff} = Q_{an} \times K_p \quad (14)$$

1.2.2 Détermination de la couverture solaire

Elle représente la part d'eau chaude en pourcentage, qui sera effectivement produite grâce à l'énergie solaire en moyenne sur l'année. On la détermine en appliquant l'équation :

$$C_S(\%) = \frac{Q_{e.c}}{Q_{eff}} \quad (15)$$

$$Q_{e.c} = Q_{eff} - Q_{app}$$

Avec :

$Q_{e.c}$: Énergie effective produite par les capteurs par an (kWh/an)

Q_{app} : Énergie fournie annuellement par l'appoint par an (kWh/an)

1.2.3 Détermination de l'énergie à fournir par le CES

L'énergie à fournir par le chauffe-eau est donnée par la formule

$$Q_{coll} = \frac{C_S}{100} \times Q_{eff} \quad (16)$$

Avec :

Q_{coll} : Énergie annuelle à fournir par le CES (kWh/an)

1.2.4 Détermination de l'énergie totale solaire à capter par an

Elle est exprimée en (kWh/an) et calculée par l'expression suivante :

$$Q_{tot} = \frac{Q_{coll}}{\eta_{inst}} \quad (17)$$

Avec :

η_{inst} : rendement du système

1.2.5 Calcul de la surface des capteurs

➤ Détermination de la surface théorique

Elle est exprimée en (m²) et se détermine par l'expression suivante :

$$S_{théo} = \frac{Q_{tot}}{E_{sol}} \quad (18)$$

Avec :

E_{sol} : Rayonnement solaire disponible du mois le moins ensoleillé (kWh/m²).

➤ Détermination de la surface effective

La surface effective est fonction du facteur d'orientation et facteur d'inclinaison. Elle représente la surface qui capte réellement les rayonnements, et son expression en (m²) est donnée par :

$$S_{eff} = K_{or} \times K_{inc} \times K_{théo} \quad (19)$$

Avec :

K_{or} : Facteur de correction qui tient compte de l'orientation du capteur.

K_{inc} : Facteur de correction tenant compte de l'inclinaison du capteur.

La détermination de la surface effective laisse la possibilité de se renseigner auprès des fournisseurs afin de prendre connaissance des dimensions de capteurs commercialisés et connaître le nombre exacte de capteurs à installer.

1.2.6 Détermination du volume de stockage

En pratique on considère très souvent un volume de 50 à 80 litres par m² de capteur et de 1.3 à 1.7 fois la consommation journalière d'un ménage. L'expression du volume stocké en (litres) se détermine par les expressions suivantes :

$$V_{st} = V' \times S_{eff} \quad (20)$$

Ou

$$V_{st} = K \times Q_j \quad (21)$$

Avec :

V' : le volume par m² de capteur exprimé en (litre).

K : coefficient allant de 1.3 à 1.7

1.3 Troisième méthode de dimensionnement

1.3.1 Évaluation des besoins d'eau chaude

La détermination des besoins en eau chaude s'effectue comme le mentionne les équations (12), (13), (14).

1.3.2 Calcul du volume de stockage

$$V_b = V_p \times N_p \times \frac{(T_{es} - T_{ef})}{(T_{st} - T_{ef})} \times K \quad (22)$$

Avec :

V_p : Volume journalier par personne en (litre).

N_p : Nombre d'occupant du logement.

T_{es} : Température de l'eau de soutirage en (°C).

T_{ef} : Température de l'eau froide entrant dans le ballon de stockage en (°C).

T_{st} : Température moyenne de l'eau de stockage prise en moyenne à 70°C.

K : coefficient mentionné dans l'expression de l'équation (21).

1.3.3 Calcul des accessoires

➤ Calcul de vase d'expansion

Toutes les pressions dans cette rubrique sont des pressions relatives lues sur un manomètre.

Les pressions absolues sont supérieures de plus un.

❖ Choix de la pression de gonflage du vase

Lors de la mise en œuvre du vase sur l'installation, dans le cas où il est placé sur l'aspiration de la pompe, sa pression de pré-gonflage P_0 à vide sera déterminée de telle sorte que :

$$P_0 = \frac{H}{10} + P_{\min} + P_{\text{vap}} \quad (23)$$

Avec :

H : hauteur manométrique exprimée en (m).

P_{\min} : Pression minimale au point le plus bas de l'installation en (Pa).

P_{vap} : Pression relative de vaporisation, fixée par la température maximale de fonctionnement en (Pa).

Sinon, c'est-à-dire lorsqu'il n'est pas à vide, il faut rajouter à P_0 la pression différentielle de la pompe.

❖ Détermination de la pression de remplissage

Lors du remplissage de l'installation, la pression de remplissage P_1 sera définie de telle sorte que le volume de réserve et celui de contraction soient ajouté dans le vase.

$$P_1 = \frac{P_0 \times V_n \times P_{\text{atm}} \times (V_{\text{con}} + V_{\text{re}})}{V_n - V_{\text{con}} - V_{\text{re}}} \quad (24)$$

Avec :

V_n : Volume nominal du vase d'expansion en (litres).

P_{atm} : Pression atmosphérique prise généralement égale à 1bar.

V_{cond} : Le volume de contraction correspondant à la diminution du fluide caloporteur (eau plus antigel) contenu dans l'installation lorsque la température passe de l'ambiante de remplissage à la température extérieure minimale $T^{\circ}ext. min$

❖ Détermination de la pression finale de fonctionnement

Par sécurité et pour éviter tout crachement de soupape, la pression finale P_2 devra être telle qu'elle ne dépasse pas $0,9.P_{soup}$ donc on a :

$$P_2 \leq 0,9 \times P_{soup} \quad (25)$$

Avec :

P_{soup} : pression de tarage des soupapes ou pression d'ouverture des soupapes en (Pa).

❖ Détermination du volume nominale du vase

$$V_n = F_p \times V_{ut} \quad (26)$$

$$V_{ut} = 1,1V_c + V_{dil} + V_{con} + V_{re} \quad (27)$$

$$F_p = \frac{P_2 + P_{atm}}{P_2 - P_0} \quad (28)$$

Avec :

V_{ut} : Volume utile du vase exprimé en (litres).

F_p : Facteur de pression du vase.

V_{dil} : Volume de dilatation correspondant à l'expansion du fluide lorsque la température passe de la température ambiante à T_{max} . . Il est exprimé en (litres).

❖ Détermination du diamètre des conduites

Dans ce type de système, comme en général le circulateur est déjà dans le kit solaire, le diamètre des conduites doit être défini en fonction des caractéristiques du circulateur. Pour connaître le diamètre de conduites il faut d'abord déterminer la perte de charge disponible.

Avec :

$$pdc_d = Hm_{cir} + pdc_{ser} + pdc_{cap} \quad (29)$$

$$J = \frac{pdc_d \times \mu}{L} \quad (30)$$

$$Z = J \times \frac{Y}{\mu} \quad (31)$$

$$Pdc_{tot} = Z + J \quad (32)$$

Avec :

$Pdcd$: Perte de charge disponible en (mce , mètres de colonne d'eau).

Hm_{cir} : Hauteur manométrique du circulateur en (m).

Pdc_{ser} : Perte de charge du serpentin en (mce).

Pd_{cap} : Perte de charge du capteur en (mce).

J : perte de charge linéique moyenne en (m/mce).

L : longueur totale de la conduite en (m).

Z : perte de charge singulière moyenne en (m/mce).

γ : Pourcentage de perte par frottement pris généralement égale à 55%.

μ : pourcentage de perte singulière pris généralement égal à 45 %.

Pd_{ctot} : Perte de charge totale en (mce).

La valeur du diamètre de conduite est déterminée en considérant la perte de charge totale calculée pour un débit Q' immédiatement supérieur au débit Q considéré pour le dimensionnement.

❖ Dimensionnement du circulateur

Pour définir un circulateur il faut disposer des pertes de charge des capteurs et déterminer la hauteur manométrique totale que doit vaincre le circulateur. Nous allons présenter ici un dimensionnement de circulateur pour le même débit Q , mais pour de plus amples informations, selon qu'on a une petite installation ou une grande installation,

$$Hm_{tot} = pdc_{cap} + pdc_{ser} + L(J + Z) \quad (33)$$

Où:

$Hmtot$: Hauteur manométrique totale exprimée en (m) que doit vaincre le circulateur à choisir

2.3 Propriétés de logement

Nombre de personnes	Nombre de chambres	Volume de l'eau chaude utilisé par jour
6 personnes (parents+4 enfants)	3 chambres 1 cuisine 1 salle de bains	1 enfant10 l/jour La mère20l/jour Le père.....15 l/jour

L'utilisation journalière de l'eau chaude

$$V (\text{jour})=4(10 \text{ l}) + (20 \text{ l}) + (15 \text{ l})$$

$$= 75 \text{ l/jour}$$

L'utilisation annuelle de l'eau chaude

$$V (\text{an})=365 \times 75$$

$$= 27375 \text{ l/an}$$

2.4 Climat de la wilaya de M'sila

M'Sila se trouve à 483m d'altitude avec un climat de steppe. Tout au long de l'année, il y a peu de précipitations. La carte climatique de Köppen-Geiger y classe le climat comme étant de type BSk. Elle affiche une température annuelle moyenne de 15.8 °C. Chaque année, les précipitations sont en moyenne de 229 mm, avec 5 mm, le mois de Juillet est le plus sec, et les précipitations records sont enregistrées en Novembre, elles sont de 34 mm en moyenne [12].

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Température moyenne (°C)	8.4	9.2	11.4	13.8	17	20.9	23.9	24	21.4	17.1	12.7	9.7
Température minimale moyenne (°C)	4.1	4.6	6.3	8.1	11	14.7	17.2	17.4	15.7	11.9	8.2	5.3
Température maximale (°C)	12.8	13.9	16.5	19.6	23	27.1	30.7	30.7	27.1	22.3	17.3	14.1

Figure (3-2) Climat annuel de la wilaya de M'sila

2.4 Dimensionnement

2.4.1 Détermination des besoins en énergie calorifique

$$B_{ces} = 0.0011611 \times V \times I_p \times N \times (T_c - T_f)$$

$$N=1$$

$$I_p=6p$$

$$T_c=60^\circ\text{C}$$

$$T_f=10^\circ\text{C}$$

$$V=75 \text{ l/j}$$

Alors:

$$B_{ces} = 0.0011611 \times 75 \times (60 - 10)$$

$$\boxed{B_{ces} = 4.35 \text{ kWh/jour}}$$

2.4.2 Détermination de la surface de capteur solaire

$$S = \frac{F \times B_{ecs}}{E' \times \eta}$$

On a :

$$B_{ces} = 4.35 \text{ kWh/jour.}$$

E' = L' ensoleillement quotidien du mois le moins ensoleillé de l'année.

$$E' = 3.59 \text{ (kWh/m}^2\text{/jour) [13]}$$

$$F = 80\%$$

$$\eta = 45\%$$

$$S = \frac{0.8 \times 4.35}{2.59 \times 0.45}$$

$$S = 2.98 \text{ m}^2$$

Donc la surface des capteurs solaires proposés est : 3 m^2 .

2.4.3 Détermination du volume de stockage

$$V = 365 \times E \times \frac{S}{\Delta T}$$

E : l'ensoleillement quotidien du meilleur mois de l'année.

$$E = 7.88 \text{ (kWh/m}^2\text{/jr) [13]}$$

$$V = 365 \times 7.88 \times \frac{2.98}{(60-10)}$$

$$V = 171.5 \text{ liter/jour}$$

On résume les résultats obtenus dans le tableau suivant :

Besoin énergétique	Volume de stockage	Surface des capteurs
4.35 kWh/jour	V = 171.5 liter/jour	3 m ²

Le volume de la cuve change entre les différentes familles selon la consommation et l'apport solaire est inversement proportionnel au volume. Une famille de faible consommation (35L/per/j) n'aura besoin que d'un seul capteur vitré du type 'Sun Systems' pour couvrir 70.35% de ces besoin avec un volume de stockage de 140l seulement, la famille à consommation moyenne (60l/per/j) auras besoin de deux capteurs du même type pour couvrir ces besoins avec une capacité de 240 l, la famille à forte consommation (80l/per/j) utiliseras 3 capteurs du même type pour couvrir 85.19% de ces besoin, autrement un seul capteur ne lui permettras de couvrir que 38% de ces besoin, ce nombre de capteurs important se reflèteras directement sur la surface ou seront placés les capteurs et le coût totale de l'installation [14].

3. Etude économique du système

Les prix des composants de système proposé sont présentés dans le tableau suivant :

Composants	Durée de vie	Prix
Capteurs solaires	25-30 ans	200 \$
Réservoir	25-30 ans	150 \$
Tuyauteries	25 ans	50 \$
Accessoires	25 ans	250 \$
Somme		650 \$=83869.5 DA

Les prix selon : [15]

1 \$= 129.03 DA (30/09/2020)

Le coût de la consommation annuelle d'une famille utilise comme énergie d'appoint le gaz naturel est 15000 DA/an, avec une économie annuel que le chauffe eau solaire réalisera sera de 12000 DA. Donc les résultats obtenus sont satisfaisants d'un point du vue économique où le temps de retour de l'investissement est d'environ 7 ans (l'amortissement du projet avec appoint gaz), et d'un point du vue environnemental, où le choix de l'énergie solaire comme une source pour alimenter une installation de chauffage, permet de réduire le recours aux énergies conventionnelles et, de ce fait, de diminuer les émissions de CO₂ [16].

Conclusion

Le chauffe-eau solaire (CES) est l'une des applications les plus courantes du système d'utilisation de l'énergie solaire. L'avancement des CES se traduira par un avantage sur le système conventionnel sur une longue période de temps. La nature écologique d'un tel système favorise l'utilisation fréquente de ces systèmes dans le chauffage domestique et industriel. Les chercheurs du monde entier se concentrent sur le progrès technique ainsi que la faisabilité économique des CES.

La présente étude s'est concentrée sur le dimensionnement d'un chauffe-eau hybride solaire/gaz sous les conditions météorologiques de la ville de Msila, ce qui démontre la faisabilité économique du CES à long terme. La période de récupération des CES varie d'une origine à l'autre car elle dépend de nombreux facteurs comme le prix des combustibles fossiles, le taux de subvention, l'insolation solaire, etc.

Donc les résultats obtenus sont satisfaisants d'un point de vue économique où le temps de retour de l'investissement est d'environ 7 ans (l'amortissement du projet avec appoint gaz), et d'un point de vue environnemental, où le choix de l'énergie solaire comme une source pour alimenter une installation de chauffage, permet de réduire le recours aux énergies conventionnelles et, de ce fait, de diminuer les émissions de CO₂.

Références

- [1] Aghilas Brahim, Etude de performances d'un capteur solaire plan à eau, mémoire de master 2, université de Lorraine, 2016.
- [2] Mounir Majdoub, Solaire Citoyen, Ministère fédéral de la Coopération économique et du Développement , 2017
- [3] <https://www.chauffe-eau-solaire.info/wp-content/uploads/2016/03/chauffe-eau-solaire-tout->
- [4] <https://www.researchgate.net/publication/274837646>
- [5] Mehdi Baneshi, Seyed Amir Bahreini, Impacts of hot water consumption pattern on optimum sizing and techno-economic aspects of residential hybrid solar water heating systems, Sustainable Energy Technologies and Assessments, 30, pp. 139-149, 2018.
- [6] SarojKarki, Karl R. Haapala, Brian M. Fronk, Investigation of the combined efficiency of a solar/gas hybrid water heating system, PII: S1359-4311, 2018.
- [7] Talita Cruz, Roberto Schaeffer, Andre F.P. Lucena, Sergio Melo, Ricardo Dutra, Solar water heating technical-economic potential in the house hold sector in Brazil, Renewable Energy 146, pp1618-1639, 2020.
- [8] <https://www.ren21.net/reports/global-status-report/>
- [9] M.R. Islam, K. Sumathy, S.U. Khan, Solar water heating systems and their market trends, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 17, pp1-25, 2013.
- [10] Chanel You tube, technologie de principe.
- [11] Bikoï Frederic Ang, Etude technico-économique et environnementale des chauffe-eau solaires en climat tropical, mémoire de master d'ingénierie, institut international d'ingénierie de l'eau et de l'environnement, 2010.
- [12] <https://fr.climate-data.org/afrique/algerie/m-sila/m-sila-3700/>
- [13] DRIF Mahmoud, Optimisation de l'irradiation solaire sur le plan des capteurs photovoltaïques à structure porteuse statique, Mémoire de master, université Mohamed Boudiaf M'sila, 2016.
- [14] G. Fatiha, F. Chekired, N. Aouchiche, C.E. Chitour, Etude technico-économique pour la conception et la réalisation d'un chauffe eau solaire, Conférence paper, 2007.
- [15] <https://www.alibaba.com>

[16] Zeghib Ilhem, etude et optimisation d'un système de chauffage photo-solaire d'une habitation, thèse de doctorat, université frères Mentouri Constantine 1, 2019.

ملخص

الأنظمة التي تستخدم الطاقة الشمسية تتطلب صيانة خفيفة وتظهر موثوقية تشغيلية جيدة ، ومقاومة شديدة للظروف الطبيعية. يحتل تحجيم أنظمة تسخين المياه بالطاقة الشمسية وظيفية حاسمة ، في الواقع تعتمد إدارة هذا العنصر على عدة معايير مثل: احتياجات المستخدم من حيث كمية الماء الساخن ، ودرجة حرارة الماء الساخن ، الظروف المناخية المحلية ، أداء نظام المجمع المسطح. الهدف من هذا العمل هو دراسة سخان مياه هجين يعمل بالطاقة الشمسية / الغازية تحت الظروف الجوية لمدينة المسيلة. النتائج التي تم الحصول عليها مُرضية من الناحية الاقتصادية حيث يكون وقت استرداد الاستثمار حوالي 7 سنوات (العمر الافتراضي لمعظم مكونات النظام هو 25 عامًا)، ومن وجهة نظر بيئية.

الكلمات المفتاحية: سخان مياه شمسي غاز , دراسة اقتصادية , مسيلة.

Résumé

Les systèmes qui utilisent l'énergie solaire demandent une légère maintenance et présentent une bonne fiabilité de fonctionnement, et une résistance extrême aux conditions naturelles. Le dimensionnement des systèmes à chauffe-eau solaires occupe une fonction déterminante, en effet la gestion de cet élément est fonction de plusieurs paramètres tels que : les besoins de l'utilisateur en quantité d'eau chaude, la température de l'eau chauffée, les conditions climatiques locales, les performances du système à capteurs plans. Le but de ce travail est d'étudier un chauffe-eau hybride solaire/gaz sous les conditions météorologiques de la ville de M'sila. Les résultats obtenus sont satisfaisants d'un point de vue économique où le temps de retour de l'investissement est d'environ 7 ans (la durée de vie de la plus part des composants du système est 25 ans), et d'un point de vue environnemental.

Mots clés : chauffe-eau solaire, gaz, étude économique, Msila.

Abstract

Solar systems require light maintenance and demonstrate good operational reliability and are highly resistant to natural conditions. The sizing of solar water heating systems occupies a critical function; in fact the management of this element depends on several criteria such as: the user's needs in terms of the amount of hot water, the temperature of the hot water, the local climatic conditions, the performance of the flat collector system. The aim of this work is to study a hybrid solar / gas water heater under the weather conditions of M'sila city. The results obtained are satisfactory both from an economic point of view, where the payback time of the investment is about 7 years (the life span of most system components is 25 years), and from an environmental point of view.

Keywords: solar water heater, gas, economic study, M'sila.