Republique Algerienne Democratique et Populaire
Ministère de l'ensignement Supérieur et de la recherche Scientifique

Université YAHIA Fares De Médéa



Mémoire de fin de Cycle

En Vue de L'obtention du diplome Master

Faculté de Technologie
Département de Génie Mécanique
Spécialité Eneries Renouvelables
En Mécanique

Thème:

Etude de faisabilité et de dimensionement d'une installation solaire thermique

---

Rédigée et Présentée par: BOUKHELKHAL Oussama
CHOUAKRI Mohamed

Dirigé Par: Dr. RABHI Redha

Année Universitaire

2021-2022

Remerciements :

Nous tenons avant tout à remercier Dieu tout puissant de nous avoir donné la force et la volante pour achever ce modeste travail. Nous tenons à remercions tout particulièrement notre promoteur Dr. RABHI Redha pour son soutien et sa disponibilité. Qu'il trouve ici l'expression de notre gratitude la plus sincère. Nous remercions toute l'équipe de notre promotion dans la spécialité mécanique pour leurs esprits de famille durant le cycle d'étude. Nous remercions également les enseignants de la formation Génie Mécanique pour tout le savoir qu'ils ont su nous transmettre durant ces années.

Dédicaces

À mes chers parents

À mes sœurs et mes frères

À toute ma famille

À tous mes enseignants

À mon Promoteur

A mon binôme

À tous mes amis et mes collègues

À Toute la famille du département de Génie Mécanique

Je dédie ce modeste travail

MOHAMED

C’est avec une grande émotion et immense plaisir que je dédie ce modeste travail à : Mes chers parents, pour leurs sacrifices, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études. Mes chères sœurs Mes chers frères. Mes chers amis. Et Merci d’être toujours là pour moi.

OUSSAM



ملخص :

أكبر مصدر للطاقة يمكن الوصول إليها على هذا الكوكب متاح في المنطقة شمال أفريقيا. ولذلك سوف ندرس بشكل أكثر تحديدا الطاقة الشمسية الحرارية.

والأداء اليومي لسخان المياه بالطاقة الشمسية التي تعتمد على المعلمات الفيزياء الحرارية لسائل نقل الحرارة (كدرجة الحرارة ، مدخل ومخرج السوائل ، ودرجة حرارة التخزين ، وما إلى ذلك) و مكونات النظام هي الأنابيب والخزان و اللوح الشمسي ، وإعدادات الأرصاد الجوية و قياس الإشعاعات (الإشعاع الشمسي ، درجة الحرارة المحيطة ...) ، والهدف هو إجراء دراسة لتركيب التدفئة وإنتاج المياه الساخنة المنزلية.

كلمات مفتاحية : الطاقة الحرارية الشمسية ، الأداء اليومي ، الأرصاد الجوية ، القياس الإشعاعي ، الإشعاع الشمسي

Summary:

The largest energy resource technically accessible on the planet is available in the region of North Africa. We will study more specifically thermal solar energy. Daily performance of a solar water heater depends on the parameters thermophysics of the heat transfer fluid (temperature fluid inlet and outlet, Storage temperature, etc.), system components, piping and tank storage, and meteorological parameters and radiometric (Solar radiation, temperature ambient…), the objective is to carry out a study of a heating and production installation domestic hot water.

Keyword: solar thermal energy, daily performance, meteorological, radiometric, solar radiation

Résumé:

La plus grande ressource d'énergie techniquement accessible sur la planète est disponible dans la région nord-africaine.

Nous allons étudier plus particulièrement l'énergie solaire thermique. Les performances journalières d'un chauffe-eau solaire dépendent des paramètres thermophysiques du fluide caloporteur (température d'entrée et de sortie du fluide, Température de stockage…), des constituants du système, la tuyauterie et la cuve de stockage, et des paramètres météorologiques et radiométriques (rayonnement solaire, température ambiante…), l'objectif est de faire une étude d'une installation de chauffage et production d'eau chaude sanitaire

Mote Clé: énergie solaire thermique, Performances journalières, météorologiques, radiométriques, rayonnement solaire

Sommaire :

- **Remerciement**
- **Dédicaces**
- **Résumé**
- **Sommaire**
- **Symboles**
- **Liste des figures**
- **Liste des tableaux**

Chapitre I : Présentation de l'habitation à Médéa

1.1 Introduction **12**

1.2 Gisement solaire du site **12**

1.3 Présentation de l'habitation **14**

1.4 Conclusion : **15**

Chapitre II : Généralités sur les solaires thermiques

2.1 Introduction : **16**

2.2 Principe : **16**

2.3 Éléments constitutif d'une installation thermique **17**

2.4 Types de chauffe-eau solaire: **17**

a) **Chauffe-eau solaire à thermosiphon**
b) **Chauffe-eau solaire à circulation forcée**
c) **Chauffe-eau à auto vidange**

2.5 Composants d'une chauffe-eau solaire : **19**

a) **Capteur solaire**

Types de capteurs solaires thermiques

- **Capteurs plans vitrés**
  - **Principaux éléments constituants un capteur plan vitré**
  - **Principe de fonctionnement d'un capteur plan vitré**
- **Capteur plan non vitré**
- **Capteurs sous vide**

Paramètres caractérisant le fonctionnement d'un capteur plan

- **Paramètres externes**
- **Paramètres internes**

Paramètres géométriques

Paramètres de fonctionnement

Orientation et inclinaison d'un capteur plan

- **Orientation**
- **L'inclinaison**

Raccordement des capteurs

- **Raccordement en série**
- **Raccordement en parallèle**

b) Ballon de stockage

c) L'échangeur

d) Tuyauterie

e) Groupe de sécurité

f) Fluide caloporteur

2.6 Fonctionnement d'un chauffe-eau solaire « thermosiphon » **27**

2.7 Avantages et inconvénients d'un chauffe-eau solaire **27**

2.8 Conclusion **28**

Chapitre III : Dimensionnement de l'installation solaire thermique

3.1 Introduction: **29**

3.2 Présentation du système solaire thermique : **29**

3.3 L'évaluation des besoins journaliers **30**

3.4 Dimensionnement des composants de l'installation thermique **31**

1. **Dimensionnement du ballon de stockage.**
2. **Choix de la température du stockage d'eau chaude.**
3. **Calcul du volume de ballon de stockage.**
4. **Dimensionnement du capteur solaire.**
   - ***a.*** **Energie calorifique journalière E_j en (kWh/j).**
   - ***b.*** **Calcul de la surface totale du capteur.**
   - ***c.*** **Calcul de nombre de panneaux nécessaires ($N_{P,th}$).**

3.5 Application numérique de la méthode de dimensionnement **33**

3.6 Caractéristiques principales du panneau **33**

3.6 Conclusion **36**

Chapitre IV : Etude technico-économique de l'installation solaire

4.1 Introduction : **36**

1. **Choix des capteurs solaires**
2. **Choix de ballon de stockage**
3. **Choix de la tuyauterie**

4.2 Devis total du système solaire thermique **38**

4.3 Comparaison entre le coût du kWh produite par l'installation thermique et celui de l'installation électrique : **38**

1. **Estimation de la quantité des émissions des gaz à effet de serre (GES) équivalent à la quantité d'électricité consommé**
2. **Calcul de la quantité annuelle de gaz naturel**
3. **Estimation de la quantité de GES émise lors de la combustion du gaz naturel**

4.4 Estimation des émissions totales des GES en tonne équivalent CO2 ..... **44**

4.5 Conclusion **45**

- **Conclusion Générale**
- **Bibliographie**

Symboles:

$V_{st.min}$: Volume minimal du ballon de stockage en **litre**.

V_p: Consommation journalière par personne en **litres**.

P : Nombre de personnes.

T_{ec} : Température souhaitée de l'eau chaude sanitaire en **°C**.

T_{ef} : Température de l'eau froide en **°C**.

T_{st}: Température de stockage de l'eau dans le ballon en **°C**.

V : Volume du ballon de stockage en **litres**.

C_p : Capacité thermique de l'eau en **Wh/kg.K°**.

T_{st} et **T_{ef}** sont respectivement les températures de stockage et de l'eau froide en **°C**.

S_{tot} : Surface totale de panneau en **m^2**.

G_s : Énergie apportée par le soleil en **kWh/m^2**.

S_u: surface unitaire du capteur solaire en **m^2**.

$N_{P,th}$:nombre de panneaux nécessaires

Ej : Energie calorifique journalière en **kWh/j**.

PCI : **J/Nm^3**.

La masse volumique **kg/Nm^3**.

Quantité annuelle de gaz naturelle **Nm^3**.

Quantité d'énergie électrique thermique produite **kWh**.

D.A : Donnée d'activité ; débit du combustible consommé

FE : Facteur d'émission du GES

Liste des figures :

Chapitre I :

Figure 1.1 : centre de wilaya de Médéa…….. 12
Figure 1.2 : Histogramme de l'irradiation globale moyenne mensuelle (kWh/j.m^2)……. 13
Figure 1.3 : Plan architecture…….. 14

Chapitre II :

Figure 2-1 : schéma de principe d'une installation solaire thermique…… 16
Figure 2-2 : schéma des éléments d'une installation solaire thermique…….. 17
Figure 2.3 : CESI monobloc……. 18
Figure 2.4 : CESI à éléments séparés…….. 18
Figure 2.5 : CES à circulation forcée…….. 18
Figure 2.6 : CES à auto vidange…….. 19
Figure 2.7 : Composants d'un capteur plan vitré…….. 20
Figure 2.8 : Fonctionnement d'un capteur plan vitré…… 21
Figure 2.9 : Capteur plan non vitré……. 21
Figure 2.10 : Capteur sous vide…… 22
Figure 2.11 : Orientation et inclinaison des capteurs…… 23
Figure 2.12 : Raccordement des capteurs……... 24
Figure 2.13 : Ballon de stockage…….. 25
Figure 2.14 : Échangeur sous forme d'un serpentin…….. 25
Figure 2.15 : Groupe de sécurité…….. 26
Figure 2.16 : Fonctionnement d'un CES à thermosiphon……. 27

Chapitre III :

Figure 3.1 : Les principaux composants d'un chauffe-eau solaire……... 29
Figure 3.2 : Schéma d'installation du chauffe-eau solaire (CES)……. 29
Figure 3.3 : Ballon de stockage d'ECS à double échangeur de marque SOLAIRE DIFFUSION…... 34

Chapitre IV :

Figure 4.1 : Devis total de l'installation solaire thermique……... 38
Figure 4.2 : Flux monétaires cumulatifs…… 41
Figure 4.3 : Flux monétaires cumulatifs avec la subvention de 45% par l'APRUE……... 41
Figure 4.4 : Flux monétaires cumulatifs avec un cout d'électricité égal au cout du marché international……... 42

Liste des tableaux :

Chapitre I :

Tableau 1.1 : données de météo à Médéa…….…… 13

Chapitre III :

Tableau 3.1 : Ratios de consommation moyenne d'eau chaude…… 30
Tableau 3.2 : Consommation moyenne d'eau chaude utilisée dans notre étude…… 31
Tableau 3.3 : Quelques données nécessaires au dimensionnement…….. 33
Tableau 3.4 : Caractéristiques techniques du capteur solaire thermique……... 33
Tableau 3.5 : Résultat d'évaluation du volume de ballon de stockage…… 34
Tableau 3.6 : Tableau regroupant les étapes du dimensionnement du panneau solaire thermique…. 35
Tableau 3.7: Résultats du dimensionnement de la tuyauterie..... 35

Chapitre IV :

Tableau 4.1 : Devis estimatif de différents panneaux solaires thermiques…… 36
Tableau 4.2 : Devis estimatif de différents capteurs solaires thermiques pour la cantine…… 37
Tableau 4.3 : Devis estimatif du ballon de stockage proposé pour la cantine…… 37
Tableau 4.4 : Devis estimatif de la tuyauterie…… 37
Tableau 4.5 : Devis total de l'installation solaire thermique…… 38
Tableau 4.6 : Facture de consommation annuelle avec le montant…….. 39
Tableau 4.7 : L'énergie thermique annuelle produite par l'installation solaire thermique……... 39
Tableau 4.8 : L'énergie thermique annuelle produite par l'installation solaire thermique……... 40
Tableau 4.9 : L'énergie électrique annuelle produite avec un rendement de 93% et cela de 25 ans… 40
Tableau 4.10 : Le cout annuel de l'énergie électrique et le cout durant la période de 25 ans…… 40
Tableau 4.11 : Le cout annuel de l'énergie électrique et le cout durant la période de 25 ans basant sur le cout international moyenne…….. 42
Tableau 4.12 : Les caractéristiques de combustible utilisé (gaz naturelle)…….. 43
Tableau 4.13 : Estimation de la quantité annuelle de gaz naturel consommé…… 43
Tableau 4.14. Les facteurs d'émission estimés pour Gaz de combustion CH4…… 44
Tableau 4.15 : Tableau présent l'estimation des GES par la méthode des facteurs d'émission…… 44
Tableau 4.16 : Tableau présent l'estimation des émissions de CO_2…….. 45

Introduction générale :

De nos jours, une grande partie de la production mondiale d'énergie est assurée à partir des énergies fossiles. La consommation de ces sources donne lieu à des émissions de gaz à effet de serre et donc une augmentation de la pollution.

Le danger supplémentaire est qu'une consommation excessive du stock de ressources naturelles réduit les réserves de ce type d'énergie de façon dangereuse pour les générations futures, et aussi face aux multiples crises économiques et pétrolières, la science s'est intéressée aux ressources dites renouvelables qui constituent un secteur stratégique et occupent une place privilégiée dans les domaines de recherche et de développement.

Les énergies renouvelables en générale, l'énergie solaire en particulier, représentent une des sources les plus prometteuses pour répondre aux besoins énergétiques mondiaux.

L'énergie solaire a l'avantage d'être propre et renouvelable.

Son développement et son utilisation pourraient alléger l'utilisation des sources d'énergies fossiles classiques (pétrole, gaz naturel, charbon).

L'énergie solaire est l'énergie que dispense le soleil par son rayonnement, directement ou de manière diffuse à travers l'atmosphère.

Sur Terre, l'énergie solaire est à l'origine du cycle de l'eau et du vent. Le règne végétal, dont dépend le règne animal, l'utilise également en la transformant en énergie chimique via la photosynthèse.

A l'exception de l'énergie nucléaire, de la géothermie et de l'énergie marémotrice, l'énergie solaire est à l'origine de toutes les énergies sur Terre.

L'utilisation des capteurs solaires pour chauffer l'eau chaude sanitaire (ECS) est une alternative mature. Toute fois une utilisation plus large est de plus en plus envisagée surtout avec des systèmes solaires combinés, qui fournissent de la chaleur pour l'eau chaude sanitaire et pour le chauffage des locaux.

Ces systèmes combinés sont bien plus complexes, demandant plus d'attention dans la phase de conception et des systèmes de régulation automatique adéquats pour obtenir la performance souhaitée pendant le fonctionnement.

Pour le chauffage d'habitation, il est possible d'installer un chauffe-eau solaire, ou un chauffage solaire, il s'agit de capteurs vitrés installés le plus souvent sur la toiture, dans lesquels circule un liquide caloporteur réchauffé par le rayonnement solaire, qui transmet ensuite la chaleur à un chauffe-eau où à un plancher chauffant basse température.

Notre travail porte essentiellement sur une étude et de dimensionner une installation de chauffage et production d'eau chaude sanitaire pour une **villa R+1**.

Pour ce faire, notre étude est structurée en Quatre chapitres :

Dans le Premier chapitre on a présenté l'habitation à Médéa. L'exploitation de l'énergie solaire nécessite une certaine connaissance, pour cette raison dans le deuxième chapitre, on va présenter des généralités sur les

solaires thermiques et les différentes installations de chauffe-eau solaire ainsi que leurs différents composants, tandis que le troisième chapitre évoque le calcul des besoins énergétiques et le dimensionnement d'une installation de chauffage solaire. Le dernier chapitre présenté est réservé à l'étude technico-économique de l'installation solaire, qui va nous aider à estimer le coût de l'installation ainsi que l'estimation de la quantité des émissions des gaz à effet de serre (GES) pouvant être évitée.

A la fin de ce travail nous terminerons **une conclusion générale.**

Chapitre I : Présentation de l'habitation à Médéa

1.1 Introduction

Dans ce chapitre nous donnons pour la région de Médéa une brève description d'une villa R+1, la cartographie du réseau de distribution du combustible utilisé et le gisement solaire de cette région.

1.2 Gisement solaire du site

L'installation à étudier est située dans la région de centre-ville, wilaya de Médéa: Latitude: 36°15′51″ N, Longitude: 2°45′14″ E, Altitude: 910m.[1]



Figure 1.1 : centre de wilaya de Médéa

L'irradiation globale moyenne mensuelle sur un plan horizontal de la région de Médéa (figure 1), et les températures moyennes mensuelles sont données au **tableau (1.1).** [2]

Mois	Irradiation du rayonnement global horizontal kWh/m²	Irradiation du rayonnement global horizontal (par jour) kWh/j.m²	Temperature Min (°C) Journalière	Temperature Max (°C) Journalière
Janv	76	2,53	4.5	9.2
Févr	89	2,97	4.4	9.8
Mars	132	4,40	6	13
Avr.	161	5,37	7.9	15.8
Mai	188	6,27	10.3	20
Juin	213	7,10	12.6	25.8
Juil.	220	7,33	14	29.5
Août	200	6,67	14.2	29
Sept	150	5,00	13.4	24.3
Oct	120	4,00	11	20.3
Nov	80	2,67	7.5	13.3
Déc	70	2,33	5.6	10.4

Tableau 1.1 .données de météo a Médéa.

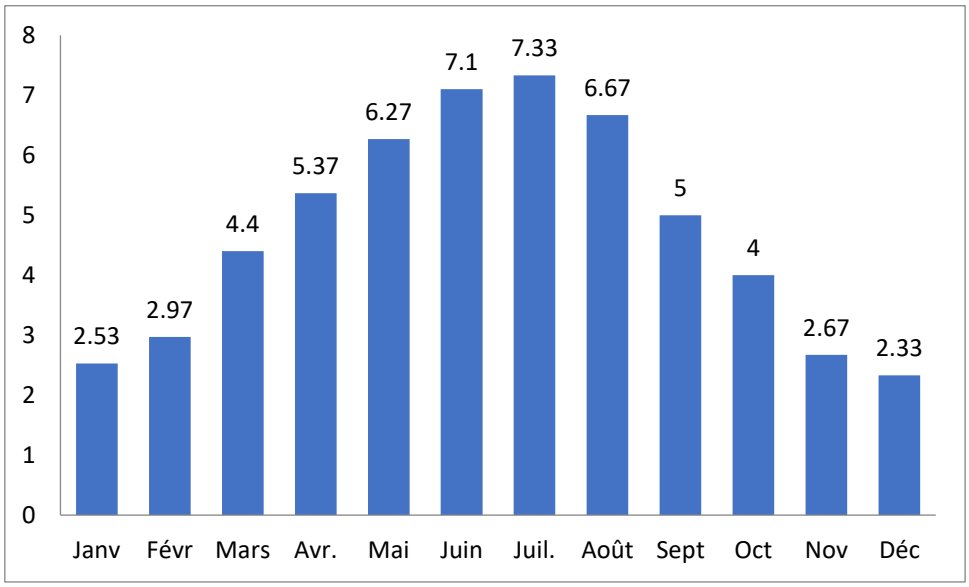
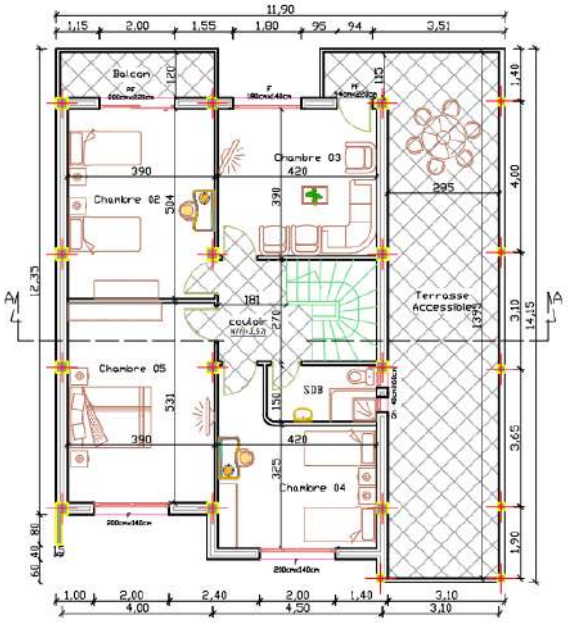


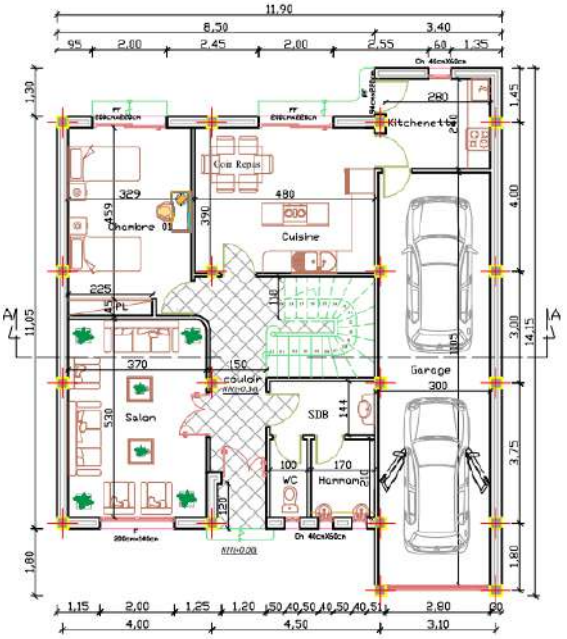
Figure 1.2. Histogramme de l'irradiation globale moyenne mensuelle (kWh/j.m²)

1.3 Présentation de l'habitation

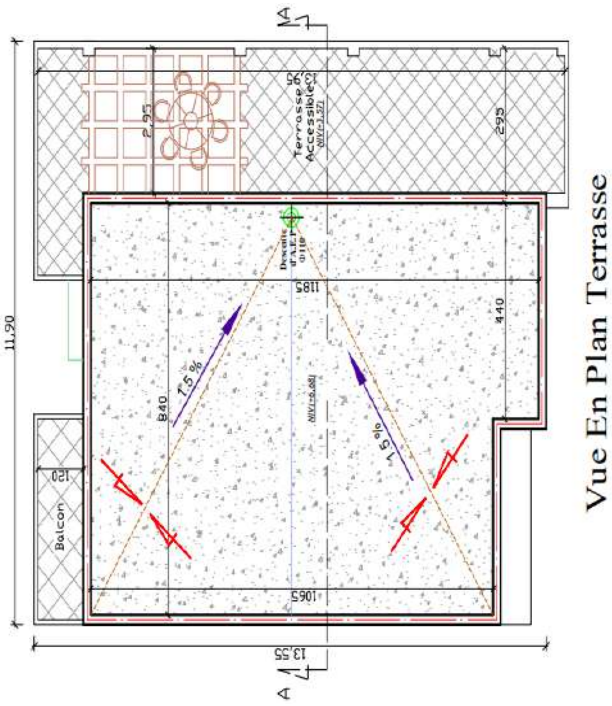
Cette villa est située à Médéa, la superficie est de 168.4m^2 , cette villa est composée de cinq chambres, une salle de séjour, deux cuisines, deux sanitaires, un garage avec deux terrasses. Elle est habituée par 8 personnes.



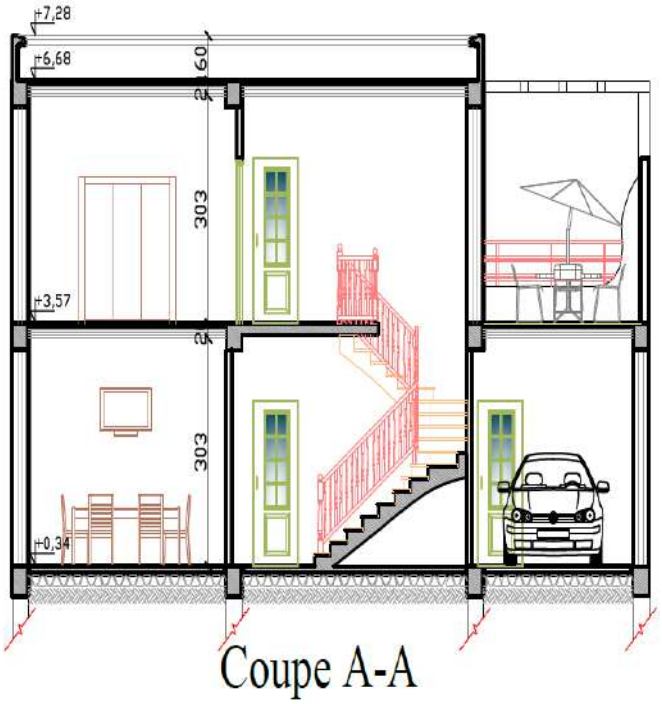
Vue En Plan 1er Etage



Vue En Plan R.D.C



Vue En Plan Terrasse



Coupe A-A

Figure 1.3 : Plan architecture

Données architecturales de la maison :

Hauteur de la maison	**7m**
Surface de la maison	**168.4m^2**
Volume de la maison	**1189m^3**

Données géographiques de la maison :

Latitude (ϕ)	**36°15′51″ N**
Longitude (L)	**2°45′14″ E**
Altitude	**910m**

1.4 Conclusion :

Dans ce présent chapitre, on a présenté une brève description d'une villa R+1 à Médéa et le gisement solaire de cette région.

Chapitre II : Généralités sur les solaires thermiques

2.1 Introduction :

Un chauffe-eau solaire est un dispositif de captation de l'énergie solaire destiné à fournir partiellement ou totalement de l'eau chaude sanitaire (ECS).

Ce type de chauffage permet en général de compléter les autres types de chauffage de l'eau utilisant d'autres sources d'énergies (électricité, énergies fossiles, biomasse…). Dans des conditions favorables, il permet de les remplacer totalement.

Un chauffe-eau solaire individuel (CESI) permet de capter l'énergie solaire pour fournir de l'eau chaude et cela pour divers usages, il se compose principalement de capteurs solaires thermiques et d'un ballon de stockage d'eau chaude.

2.2 Principe :

Le principe d'un chauffe-eau solaire est simple, des panneaux solaires sont installés généralement en toiture, transforment la lumière du soleil en chaleur.

Un circuit de plomberie permet de ramener cette chaleur dans un ballon, ou l'eau chaude sanitaire est stockée en attendant d'être utilisée.

Durant la journée le soleil fait monter en température de l'eau du ballon. Lorsque le soleil est trop voilé une régulation arrête la circulation entre les panneaux et le ballon.

L'eau chaude, protégée par l'isolation du ballon, reste disponible plusieurs jours pour les usages domestiques.

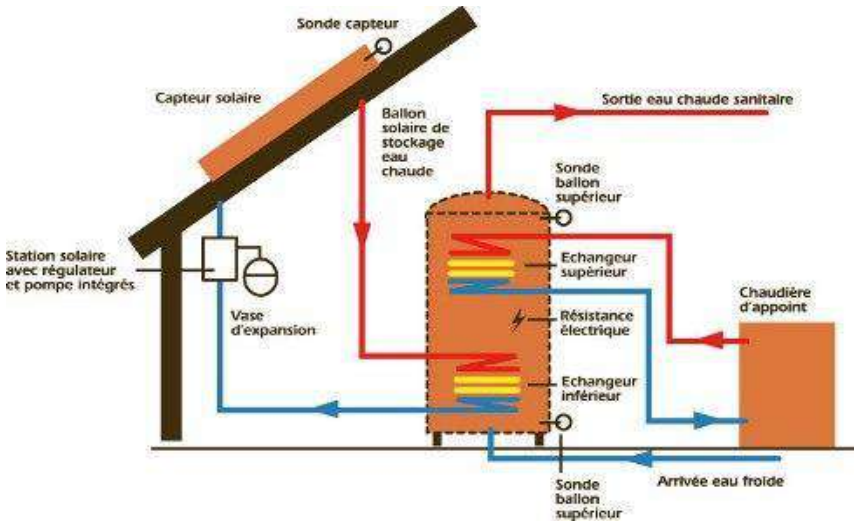


Figure 2.1: schéma de principe d'une installation solaire thermique

2.3 Éléments constitutif d'une installation thermique

Tout système de conversion thermique de l'énergie solaire constitue l'élément suivant :

- Un capteur solaire.
- Un circuit caloporteur permettant de transférer l'énergie absorbée par le capteur l'appareil d'accumulation ou directement au point d'exploitation.
- Un stockage thermique.
- Un réseau de distribution.

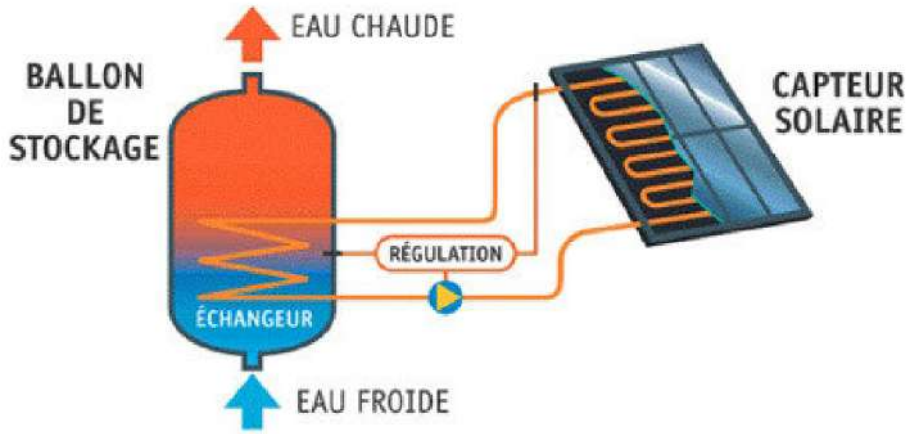


Figure 2.2 : schéma des éléments d'une installation solaire thermique

2.4 Types de chauffe-eau solaire:

L'énergie interceptée par le capteur solaire et convertie en chaleur est transmise au fluide caloporteur et elle est transférée vers un réservoir de stockage. Ainsi, selon la nature de circulation du fluide, on distingue deux systèmes de chauffe-eau solaires.

a) Chauffe eau solaire à thermosiphon:

Sous l'effet d'un rayonnement solaire, l'eau contenue dans le capteur s'échauffe est sa densité diminue, selon le principe de gravitation elle s'élève dans le circuit et elle est remplacée par de l'eau plus froide (et donc plus lourde) en provenance du ballon. C'est l'effet thermosiphon. Pour que la circulation du fluide dans le circuit soit assurée, le ballon de stockage doit être obligatoirement placé plus haut que les capteurs selon une hauteur prédéfinie.

Il ne comporte pas de pompes ni de régulation, et ne nécessite pas de raccordement à un réseau électrique, les risques de panne et de dysfonctionnement sont, par conséquent, très réduits. Selon la disposition du ballon de stockage par rapport aux capteurs on distingue deux types de CESI :

CESI thermosiphon monobloc.

CESI thermosiphon à éléments séparés.

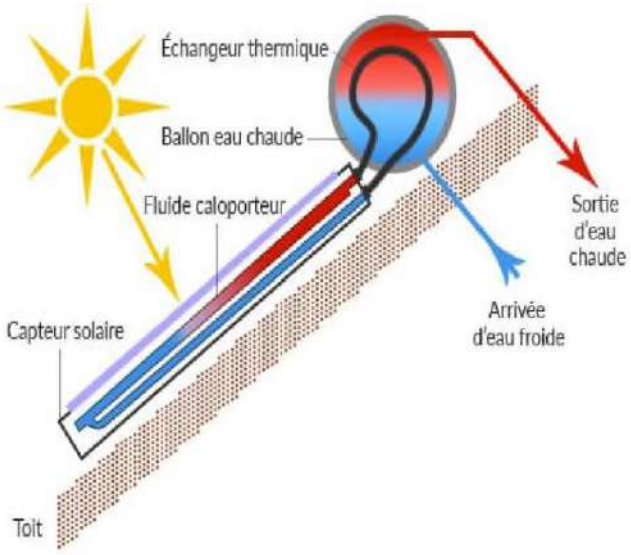


Figure 2.3 : CESI monobloc

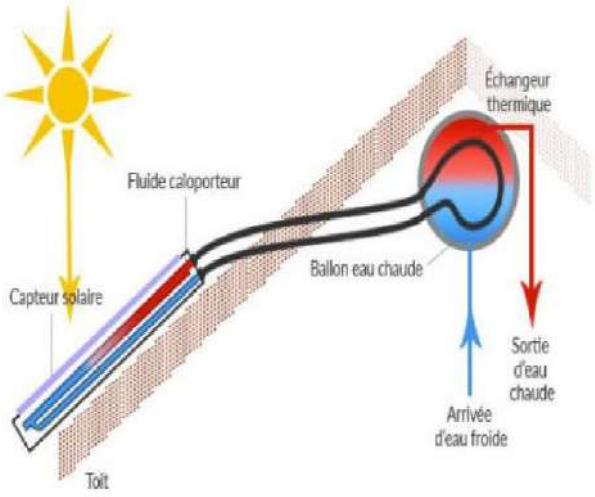


Figure 2.4 : CESI à éléments séparés

b) Chauffe-eau solaire à circulation forcée:

Cette catégorie regroupe les chauffe-eau solaires qui font appel à un calculateur pour transférer l'eau chauffée dans le collecteur depuis le capteur solaire vers le ballon de stockage.

Contrairement aux chauffe-eau fonctionnant par thermosiphon, la disposition relative du ballon et du capteur est totalement libre. Ce qui représente un des avantages d'un système de chauffe-eau-solaire à circulation forcée.

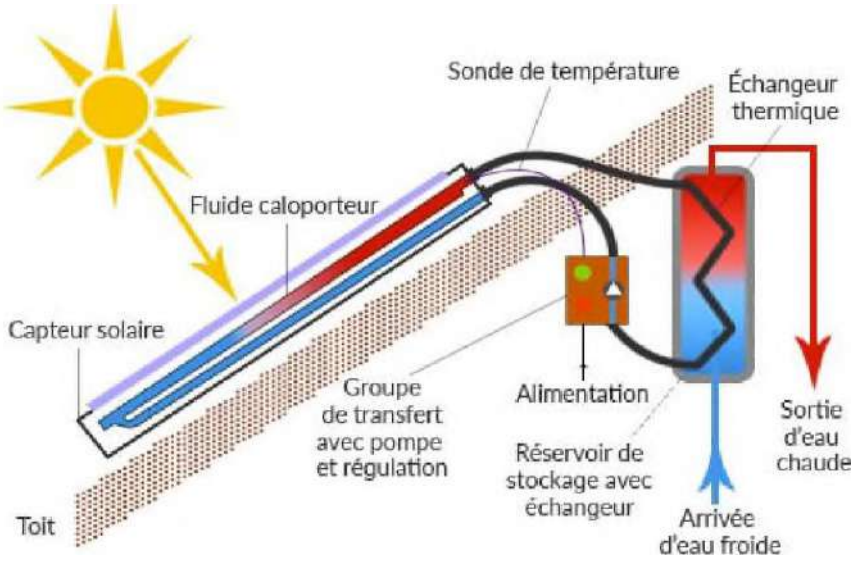


Figure 2.5 : CES à circulation forcée

c) Chauffe eau à auto vidange:

C'est une autre alternative pour éviter le risque de gel. Elle consiste à vider les panneaux solaires en période de non utilisation.

Dans ce cas, le ballon est toujours situé plus bas que les panneaux solaires. Dès que le soleil ne chauffe plus, la circulation entre les panneaux et le ballon s'arrête et le circuit se vidange automatiquement.

Dès que l'ensoleillement reprend, la circulation se remet en route.

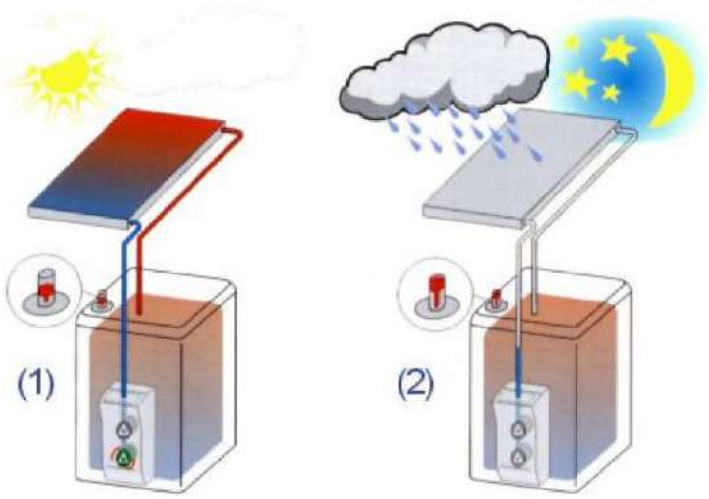


Figure 2.6 : CES à auto vidange

2.5 Composants d'une chauffe-eau solaire :

Un chauffe-eau solaire, ce n'est pas un bloc unique qui produit de l'eau chaude, mais un ensemble d'éléments qui, raccordés, vont permettre au soleil de libérer l'énergie contenue dans sa lumière, et de chauffer l'eau sanitaire.

Il est composé principalement de deux éléments, le ballon de stockage et le capteur solaire. Au quel sont ajoutés d'autres composants à savoir, une tuyauterie, un groupe de sécurité...etc.

A. Capteur solaire

Les capteurs solaires thermiques 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.

Types de capteurs solaires thermiques

Il existe trois types de capteurs solaires thermiques :

- **Capteurs plans vitrés**

C'est un élément très simple, comportant un absorbeur métallique qui transforme le rayonnement solaire en chaleur, transmet cette chaleur à un liquide caloporteur.

Principaux éléments constituants un capteur plan vitrés

L'absorbeur est monté dans un boîtier isolé recouvert d'un verre ou feuille en matière synthétique hautement transparente.

L'absorbeur comporte une couche noire souvent sélective qui absorbe efficacement le rayonnement solaire et réduit les pertes par rayonnement.

L'absorbeur est dans ce cas, métallique (en cuivre ou en aluminium), dans un caisson isolé en face arrière, et vitré en face avant.

La fonction du vitrage est de piéger le rayonnement en créant un effet de serre. Ces capteurs conviennent mieux à des applications à température modérée où les températures souhaitées se situent entre 30°C et 90°C.

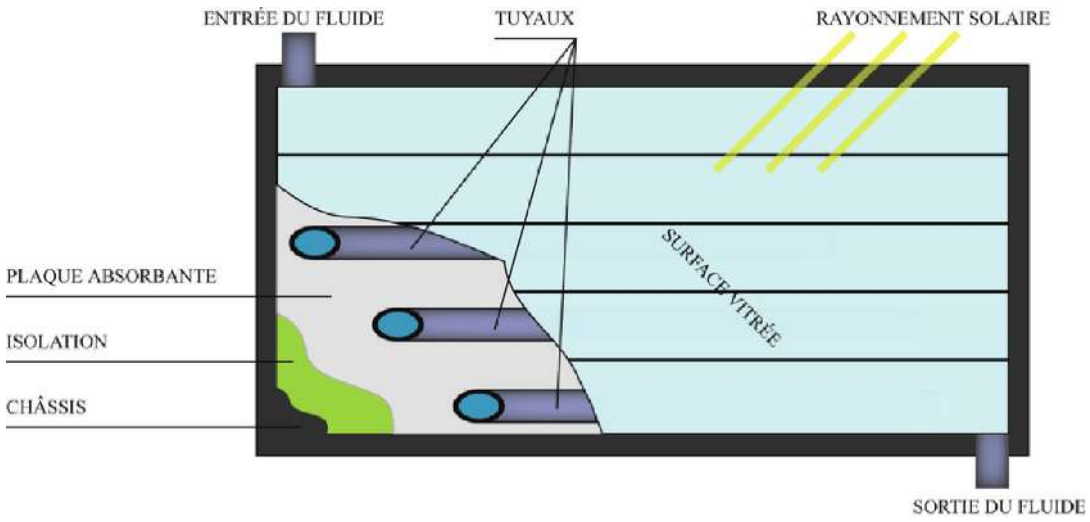


Figure 2.7 : Composants d'un capteur plan vitré

Principe de fonctionnement d'un capteur plan vitré

Une partie du rayonnement solaire qui arrive sur la vitre la traverse pour atteindre la plaque absorbante. Cette dernière s'échauffe et transfère la chaleur au fluide caloporteur qui circule dans les tubes.

Comme tout corps qui s'échauffe, l'absorbeur émet un rayonnement (essentiellement dans l'infrarouge) qui est réfléchi par la vitre, c'est le principe de « l'effet de serre ».

L'isolant a pour fonction de minimiser les déperditions thermiques avec l'extérieur.

En effet, la grande partie de l'énergie absorbée doit être transmise au fluide, il faut donc minimiser les pertes avec l'environnement proche.

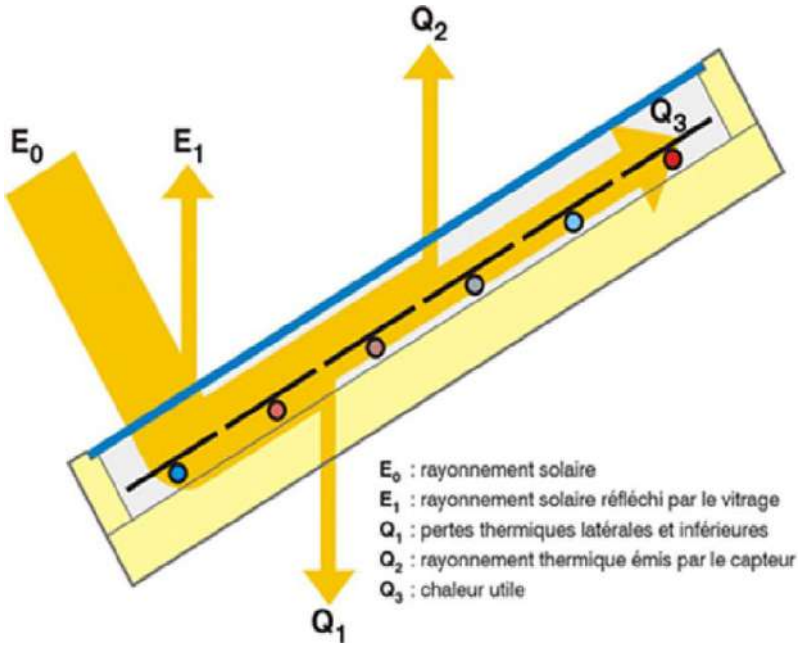


Figure 2.8 : Fonctionnement d'un capteur plan vitré

- **Capteur plan non vitré**

Ce capteur est le plus simple que l'on puisse imaginer, son application usuelle est le chauffage de piscine en plein air, il ne permet pas la production d'ECS sauf dans les pays chauds.

Il s'agit d'un seul absorbeur en matière synthétique pour les applications à basse température en métal revêtu d'une couche sélective, se compose d'un réseau de tubes noirs accolés les uns aux autres.

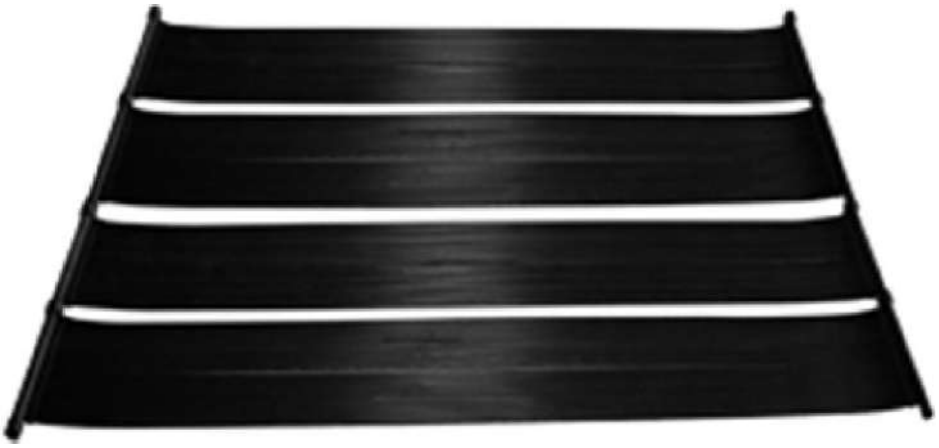


Figure 2.9 : Capteur plan non vitré

- **Capteurs sous vide**

Les capteurs sous vide permettent d'atteindre des températures plus élevée (jusqu'à 120ºC).
Ils sont constitués de tubes en verre dans lesquels se trouve un absorbeur sélectif.

Le vide réalisé dans les tubes permet de diminuer fortement les pertes thermiques du capteur, l'autre avantage de ce capteur est de pouvoir être disposé suivant n'importe quelle inclinaison ce qui facilite son intégration.

Ces capteurs conviennent bien à la production d'EC (eau chaude) en montagne ou dans les pays du nord compte tenu de leur bon rendement pour des températures extérieures basses.



Figure 2.10 : Capteur sous vide

Paramètres caractérisant le fonctionnement d'un capteur plan

Les paramètres caractérisant le fonctionnement d'un capteur plan peuvent être classés en deux catégories : les paramètres externes et les paramètres internes.

Paramètres externes

Les principaux paramètres externes qui peuvent intervenir directement sur les performances d'un capteur plan sont:

- Paramètre d'ensoleillement : le rayonnement solaire, position du soleil, duré d'insolation, …etc.
- Température ambiante
- Vitesse du vent

Paramètres internes

Paramètres géométriques

- Les paramètres de position : angle d'inclinaison, orientation du capteur.
- La surface du capteur
- Les dimensions de différents éléments : épaisseur, longueur et largeur

Paramètres de fonctionnement

- La température d'entrée du fluide caloporteur
- Le débit massique du fluide caloporteur
- Les températures des différents éléments du capteur

Ces paramètres sont très importants. Ils permettent, en tenant compte du coût, d'avoir une température de sortie du fluide élevée (puissance utile élevée). En d'autres termes ; un meilleur rendement du capteur.

Orientation et inclinaison d'un capteur plan

Orientation

A cause de répartition intégrale de l'ensoleillement pendant toute la journée, il est nécessaire d'orienter le capteur de telle façon que l'énergie recueilli soit maximale, généralement on oriente les capteurs en plein sud (Pour l'hémisphère nord)

L'inclinaison

Le problème de l'inclinaison est le plus délicat et nécessite une étude chiffrée, mais nous constatons néanmoins que la position verticale du capteur favorise la période hivernal, alors que la position horizontale conduit a des meilleurs rendements pendant l'été, la solution idéale serait d'inclure différemment les capteurs suivant la période de l'année.

Comme les capteurs seront nécessairement fixes on les incliné sur l'horizontale d'un angle égale à latitude du lieu.

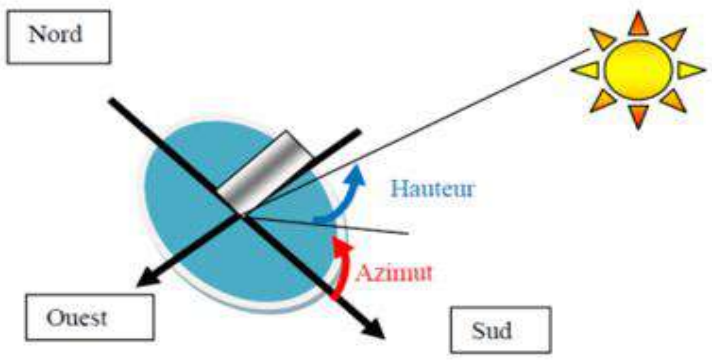


Figure 2.11 : Orientation et inclinaison des capteurs

Raccordement des capteurs

Raccordement en série

Dans ce type de montage, la sortie du premier capteur est reliée à l'entrée du deuxième capteur dont la sortie est reliée à l'entrée du troisième capteur et ainsi de suite.

Plus le parcours du fluide caloporteur est long, plus les températures obtenues a la sortie des derniers capteurs sont élevées.

Raccordement en parallèle

Dans ce cas, l'eau arrive à chaque capteur par une conduite de distribution qui parcourt les bords inférieurs, alors que l'eau chaude est prélevée par l'intermédiaire d'une autre conduite placée le long du bord supérieur du capteur.

Il est donc important dans ce type de raccordement que le circuit soit bien équilibré de façon à ce que le débit du fluide caloporteur soit distribué également dans les divers capteurs.

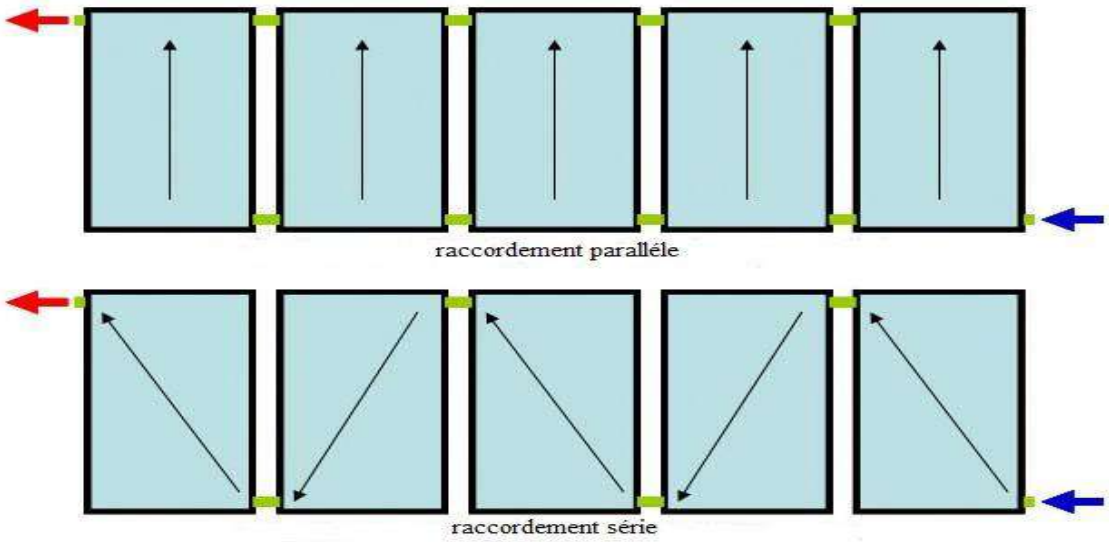


Figure 2.12 : Raccordement des capteurs

B. Ballon de stockage

Le ballon de stockage est un élément essentiel dans l'installation de chauffage d'eau solaire. Comme son nom l'indique, Il permet de stocker l'eau chaude pour la restituer au moment des besoins d'utilisation, Il peut contenir ou non un échangeur de chaleur.

Aussi pour éviter les pertes thermiques vers le milieu extérieur, le ballon de stockage doit être bien isolé en choisissant une épaisseur de l'isolant thermique et économique adéquate.

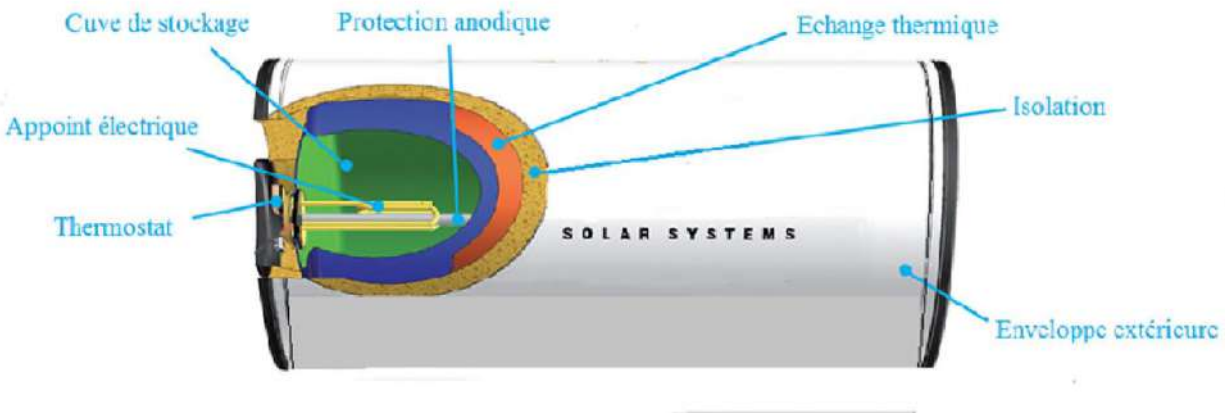


Figure 2.13 : Ballon de stockage

- L'anode de sécurité protège la cuve de la corrosion.
- La résistance électrique immergée dans la cuve permet de chauffer l'eau en cas de faible ensoleillement pendant plusieurs jours (Appoint électrique).

C. L'échangeur

Un échangeur de chaleur est un appareil dans lequel circulent deux fluides séparés par une paroi et qui échangent de la chaleur, l'un se refroidit pendant que l'autre s'échauffe.

Le plus souvent, il est intégré dans la cuve de stockage.

De part sa fonction de transfert thermique, l'échangeur doit offrir une surface de contact la plus grande possible entre fluides, c'est pourquoi la plupart des échangeurs ont l'aspect d'un serpentin.



Figure 2.14 : Échangeur sous forme d'un serpentin

D. Tuyauterie

La tuyauterie sert au transfert du fluide caloporteur, son étude et son installation doivent être suivies avec soin pour éviter de graves ennuis.

Le circuit de tuyauterie doit être le plus simple possible c'est-à-dire court et éviter les changements de diamètre. Les tuyaux doivent être soigneusement calorifugés.

E. Groupe de sécurité

Cet appareil regroupe 4 fonctions :

- Protéger le ballon contre les excès de pression.
- Isoler le ballon du circuit d'alimentation eau froide.
- Interdire le retour de l'eau chaude dans le circuit d'alimentation à eau froide.
- Vidanger le ballon.

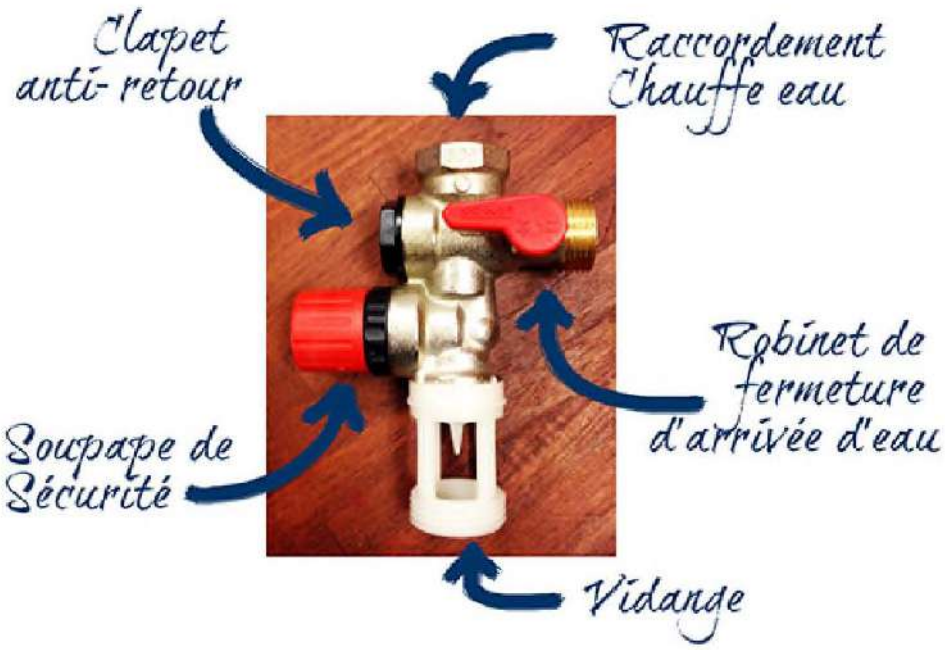


Figure 2.15 : Groupe de sécurité

F. Fluide caloporteur

Un fluide caloporteur (aussi appelé caloporteur), est un fluide ayant la capacité particulière de capturer efficacement et durablement la chaleur ambiante.

Il est donc utilisé dans différents systèmes (moteurs, chauffe-eau solaires, réfrigérateurs, etc.) pour transporter la chaleur d'un point à un autre, en vue de produire un certain effet. Pour nous, il aura pour rôle de transporter la chaleur accumulée à l'intérieur des capteurs solaires jusqu'au ballon d'eau chaude, afin de transmettre la chaleur à l'eau.

2.6 Fonctionnement d'un chauffe-eau solaire « thermosiphon »

L'effet thermosiphon est un phénomène naturel : dans un circuit fermé, l'eau chaude à tendance à monter et l'eau froide à descendre.

L'eau froide arrive dans la cuve (1). L'eau située en bas de la cuve (2), plus froid descend (3), dans le réseau de tuyaux du capteur, se réchauffe grâce aux rayons de soleil en remontant (4), et une fois arrivée en haut du capteur (5) remonte naturellement dans le ballon (6).

La circulation de l'eau s'effectue ainsi sans l'aide d'une pompe. L'eau chaude est puisée en partie haute du ballon (7), la ou l'eau est la plus chaude pour être envoyée dans le circuit d'eau chaude (8).

Pour que le phénomène fonctionne, il faut que le ballon de stockage soit situé au-dessus du capteur [15].

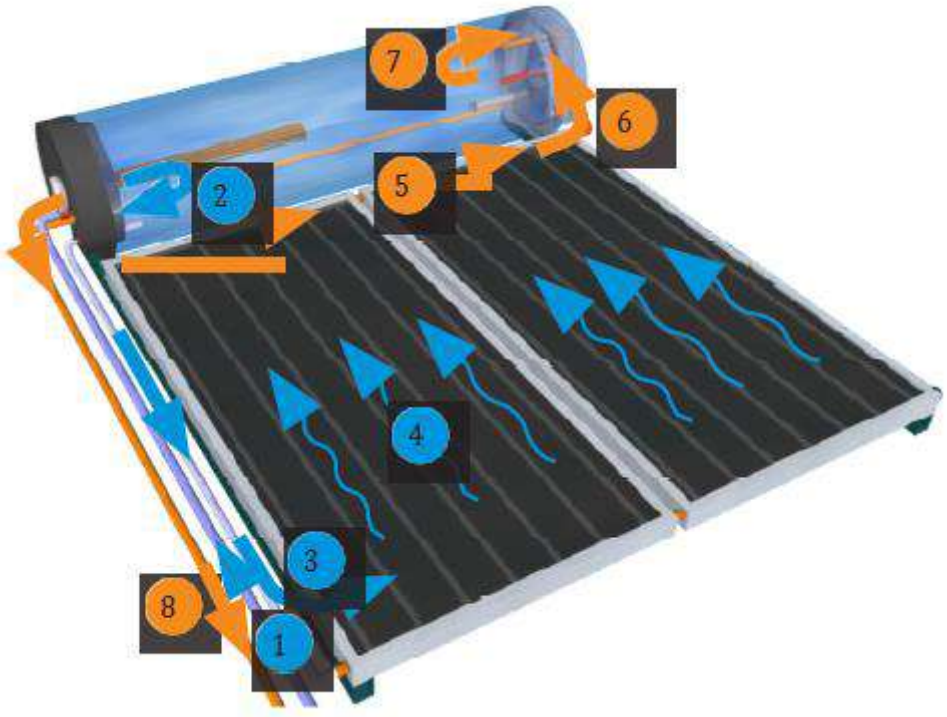


Figure 2.16 : Fonctionnement d'un CES à thermosiphon

2.7 Avantages et inconvénients d'un chauffe-eau solaire

a. Avantages

- Un chauffe-eau solaire ne dégage aucun gaz à effet de serre, vous contribuez donc activement à la protection du climat.
- Un chauffe-eau solaire utilise une source d'énergie disponible et renouvelable.
- Avec un chauffe-eau solaire vous préservez les sources d'énergie conventionnelle (pétrole, gaz, charbon). Vous contribuez à l'indépendance énergétique du pays.

- Un chauffe-eau solaire a une durée de vie moyenne de vingt ans, soit beaucoup plus qu'un cumulus électrique, et cela en fait donc une technologie fiable.

- En installant un chauffe-eau solaire, vous gagnez en indépendance énergétique et économique : vous n'êtes plus assujetti aux dépenses additionnelles dues aux augmentations des prix de l'énergie.
- Un chauffe-eau solaire ne demande qu'un entretien léger sur vingt ans.
- Si un chauffe-eau solaire ne couvre pas tous les besoins du logement, il ne faudra que très peu de puissance électrique complémentaire pour faire l'appoint.
- Un chauffe-eau solaire bien dimensionné peut non seulement apporter la fourniture d'eau chaude domestique, mais aussi, la fourniture partielle ou totale d'eau chaude pour le chauffage.

b. Inconvénients

- Un chauffe-eau solaire est un dispositif plus coûteux au départ, qui demande donc un effort d'investissement.
- Le coût d'un ballon pour un chauffe-eau solaire est plus élevé qu'un système conventionnel, car il doit résister à la pression, répondre aux directives concernant l'hygiène de l'eau potable et satisfaire les exigences sévères concernant la protection anticorrosion.
- Un chauffe-eau solaire ne fonctionne pas la nuit, il faut donc investir sur un ballon de stockage très bien isolé pour avoir de l'eau chaude disponible le matin.
- Un chauffe-eau fonctionne moins bien l'hiver, lors de journées couvertes, neigeuses ou pluvieuses alors que la demande énergétique est la plus élevée (surtout si le système est combiné, eau chaude/chauffage).

En conclusion, le chauffe-eau solaire permet de bénéficier chez soi d'eau chaude en permanence. De plus, l'énergie est renouvelable, ce qui est un gros avantage à ne pas oublier.

2.8 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté le chauffage par le solaire peut devenir très efficace dans le cadre d'un logement basse consommation.

Et les systèmes solaires, est précisément les chauffages solaires, qui fonctionnent selon un principe simple et efficace, consistant à convertir les rayons électromagnétique du soleil, en une énergie calorifique qui serait transmise à un fluide caloporteur (eau), pour des besoins domestiques ou pour procès industriel.

Chapitre 03 : Dimensionnement de l'installation solaire thermique

3.1 Introduction:

Dans ce chapitre, nous allons détailler l'étude dimensionnement des différents équipements d'une installation solaire que suppose tout d'abord la connaissance de l'énergie solaire qu'elle reçoit. Cette énergie sera définie par plusieurs facteurs, cela en fonction des paramètres essentiels à prendre en charge les besoins à satisfaire en eau chaude sanitaire (ECS).

3.2 Présentation du système solaire thermique :

Le système solaire thermique est dédié pour la production d'eau chaude sanitaire (ECS), qui composé de 5 composants en général : le capteur, système de transfert, le stockage, l'appoint et la distribution (figure III.1).

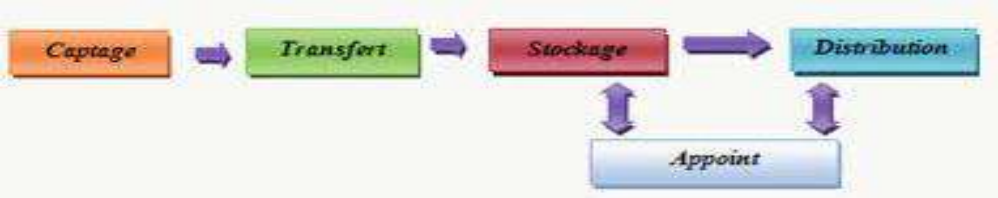


Figure 3.1 : Les principaux composants d'un chauffe-eau solaire.

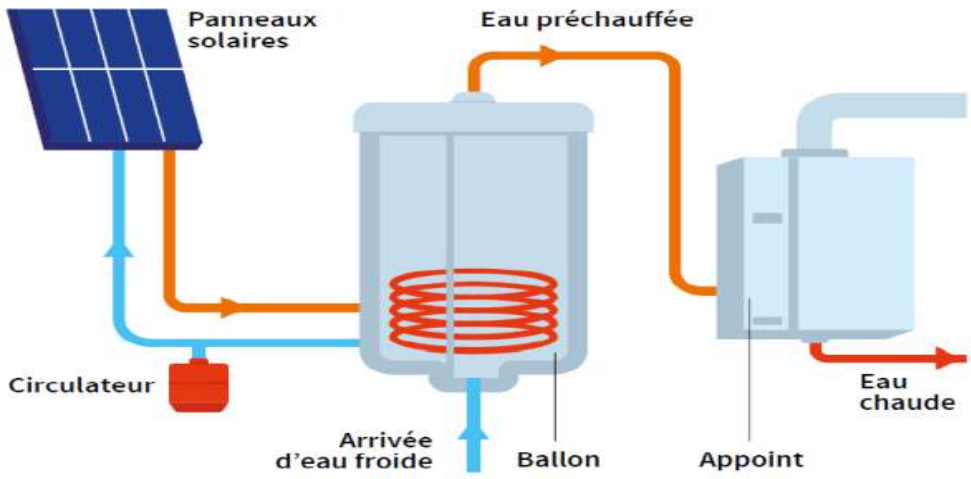


Figure 3.2 : Schéma d'installation du chauffe-eau solaire (CES).

3.3 L'évaluation des besoins journaliers

Pour dimensionner une installation de chauffage solaire il est nécessaire de connaitre avec une bonne approximation les besoins en eau chaud sanitaire. Dans le cas d'une habitation on va d'abord commencer par l'évaluation des consommations journalières de l'ECS. Il y a trois méthodes [9] pour évaluer des consommations pour la production d'eau chaude sanitaire (ECS) :

- Méthode rapide par ratios : est une méthode qui définit des consommations moyennes annuelles en ECS sous forme des ratios.
- Méthode d'estimation : qui consiste à exprimer les consommations annuelles à partir des besoins et des rendements des installations-types
- Méthode détaillée : contrairement aux autres méthodes, cette méthode ne dépend pas des variations climatiques saisonnières car elle s'applique mois par mois.
- La maîtrise des consommations d'eau chaude permettra de réduire la taille de l'installation solaire et ainsi d'optimiser son coût. Pour cela, il est préférable lors de dimensionnement d'utiliser les valeurs réelles de la consommation d'eau chaude sanitaire. Si elles ne sont pas accessibles, il est préconisé d'utiliser les ratios de consommations, ici le **tableau 3.1** montre les valeurs considérées dans notre étude. [10]

Restauration :

Restaurant	Repas ordinaire	8L/ repas
	Repas luxe	12à 20L/ repas
	Petit déjeuner	2L/ repas

Autres établissements :

Types d'établissement	**Observation**	**Consommation d'eau à 60° C**
chambres individuelles	SDB, Hammam, WC, cuisine, kitchenet	60L/jour/ chambre
Chambres	/	5L/jour/ chambre

Tableau 3.1 : Ratios de consommation moyenne d'eau chaude

Pour notre étude, les valeurs suivantes **(tableau 3.2)** ont été prises en considération

Désignation	**Cons moyenne d'eau chaude par personnes**
Consommation individuelle	30L/ jour/ chambre
Restaurant	8L/ repas 02 fois par jour

Tableau 3.2 : Consommation moyenne d'eau chaude utilisée dans notre étude.

3.4 Dimensionnement des composants de l'installation thermique

1. Dimensionnement du ballon de stockage.

Le ballon est un peu à part du reste de l'installation au niveau du dimensionnement, car il ne prend pas en compte directement l'énergie solaire apportée aux panneaux. Nous avons donc commencé par déterminer le volume de stockage qui est nécessaire au chauffage de l'eau à 60°C (température de stockage) en fonction des températures d'eau froide qui varient chaque mois.

2. Choix de la température du stockage d'eau chaude.

Le dimensionnement d'un ballon du stockage de l'eau chaude se base principalement sur la température de consigne, Le choix entre une température d'eau chaude à 55°C ou à 60°C est essentiel d'optimiser la température de production de l'ECS. Pour cela vous pouvez agir sur la consigne de température au niveau de la production, si la température être trop basse il y aura un risque de prolifération des légionelles dans les ballons d'eau chaude et dans le réseau de distribution, pareil si la température être trop haute les **équipements s'usent** et se corrodent alors plus rapidement, un risque de brulures et une de pertes d'énergie au niveau du stockage et de la distribution.

3. Calcul du volume de ballon de stockage

Le volume minimal de stockage de l'eau chaude se calcule comme qui suit [10]:

$$V_{st.min} = \frac{1.5 \times V_p \times P \times (T_{ec} - T_{ef})}{(T_{st} - T_{ef})} \quad \text{..... (3.1)}$$

$V_{st.min}$: Volume minimal du ballon de stockage en litre.

1.5 : coefficient de sécurité pour garantir la couverture des besoins.

V_p: Consommation journalière par personne en litres.

P : Nombre de personnes.

T_{ec} : Température souhaitée de l'eau chaude sanitaire en °C.

T_{ef} : Température de l'eau froide en °C.

T_{st}: Température de stockage de l'eau dans le ballon en °C.

4. Dimensionnement du capteur solaire

La méthode de dimensionnement est assez simple, et elle suit les étapes suivantes :

a. Energie calorifique journalière E_j en (kWh/j)

Elle correspond à l'énergie calorifique journalière à apporter pour chauffer l'eau à une température donnée à partir des différentes températures d'eau froide. Elle se calcul à partir de la formule suivante[10]:

$$E_j = V \times C_p \times (T_{st} - T_{ef}) \quad \text{.....(3.2)}$$

Avec :

V : Volume du ballon de stockage en litres.

C_p : Capacité thermique de l'eau en [Wh/kg.K°].

T_{st} et T_{ef} sont respectivement les températures de stockage et de l'eau froide en °C.

b. Calcul de la surface totale du capteur

La surface totale du panneau solaire nécessaire à notre installation, se définit comme étant le rapport entre l'énergie utile au chauffage de l'eau à la température souhaité (notée Ej) et l'énergie effectivement apportée par le soleil.

La formule suivante [11]:

$$S_{tot} = \frac{E_j}{G_s} \quad \text{..... (3.3)}$$

Avec :

S_{tot} : Surface totale de panneau en m²

G_s **:** Énergie apportée par le soleil en kWh/m²

c. Calcul de nombre de panneaux nécessaires ($N_{P,th}$)

Le nombre de panneaux thermiques se déduit facilement selon la relation suivante [11]:

$$N_{P.th} = Ent\left[\frac{S_{tot}}{S_u}\right] \quad \text{..... (3.4)}$$

Tel que :

S_u: surface unitaire du capteur solaire en m².

3.5 Application numérique de la méthode de dimensionnement

Les données nécessaires au dimensionnement sont citées dans le tableau ci-dessous

Caractéristiques	Valeurs
Cons journaliers par personne (L/j/chambre)	30
Nombre de personnes	08
Restaurant (02 repas par jour) (L/j)	8
Volume total (Chambres et restaurant) (L/j/personne)	76
T eau chaude sanitaire TEC (°C)	55
T stockage de l'eau dans le ballon TST (°C)	60
T de l'eau la plus froide de l'année TEF (°C)	4
Capacité thermique de l'eau (Wh/kg.K)	1.163

Tableau 3.3 : Quelques données nécessaires au dimensionnement.

3.6 Caractéristiques principales du panneau

Les caractéristiques techniques du capteur solaire sont représentées ci-dessous (tableau):

Caractéristiques	Caractéristiques Unité Panneau PM
Dimensions(mm)	1927x927x90
Poids(kg)	34
Volume de fluide(L)	1
Débit nominal(L/h)	100
Nombre de capillaries	8
Matériau de l'absorbeur	Almeco-Tinox
a1 (coefficient de déperditions thermiques par conduction)(W/(m².K))	3,722
a2 (coefficient de déperditions thermiques par convection)' W/(m².K))	0,012

Tablea 3.4 : Caractéristiques techniques du capteur solaire thermique.

a. Calcul du volume de ballon de stockage

Calcul du volume total des ballons de stockage V_{ST},			
	Formule	**Calcul**	**Résultat**
Cuisine	$V_{st.min} = \frac{1.5 \times V_p \times P \times (T_{ec} - T_{ef})}{(T_{st} - T_{ef})}$	$V_{st.min} = \frac{1.5 \times 8 \times 8 \times (55 - 4)}{(60 - 4)}$	**87.43 L**
05 Chambres	$V_{st.min} = \frac{1.5 \times V_p \times P \times (T_{ec} - T_{ef})}{(T_{st} - T_{ef})}$	$V_{st.min} = \frac{1.5 \times 30 \times 8 \times (55 - 4)}{(60 - 4)}$	**327.86 L**

Tableau 3.5 : Résultat d'évaluation du volume de ballon de stockage.

Ce premier calcul nous a permis de constater que le volume de ballon de la cuisine doit être au minimum de 87.5 litres et pour les 05 chambres individuelle de 328 litre afin de pouvoir stocker suffisamment de l'eau chaude pour la journée la plus froide de l'année dans la région de Médéa.

Tous les volumes de ballon ne sont pas accessibles au niveau du commerce, mais on peut recommander un ballon standard de 500L à double échangeur. (figure 3.3)



Figure 3.3 : Ballon de stockage (500L) d'ECS à double échangeur de marque SOLAIRE DIFFUSION [12].

b. Dimensionnement du capteur solaire thermique

Ce dimensionnement a pour but de déterminer l'installation adéquate pour produire de l'eau chaude sanitaire à moindre coût à l'aide des panneaux solaires thermiques. Les différentes étapes du dimensionnement du panneau solaire thermique sont regroupées dans **le tableau 3.6**.

	Formule	**Calcul**	**Résultat**
l'énergie calorifique journalière $\mathbf{E_j}$	$E_j = V \times C_p \times (T_{st} - T_{ef})$	$E_j = 300 \times 1.163 \times (60 - 4)$	19.53 KWh/j
la surface totale de captage $\boldsymbol{S_{tot}}$	$S_{tot} = \frac{E_j}{G_s}$	$S_{tot} = \frac{19.53}{3.1}$	6.3 m^2
Calcul de nombre de panneaux nécessaire $\mathbf{N_{p,th}}$	$N_{P.th} = Ent\left[\frac{S_{tot}}{S_u}\right]$	$N_{P.th} = Ent\left[\frac{6.3}{1.786}\right]$	4

Tableau 3.6 : Tableau regroupant les étapes du dimensionnement du panneau solaire thermique**.**

Cette série de calculs nous a permis au début d'évaluer l'énergie calorifique nécessaire pour chauffer l'eau à 60°C à partir de la température la plus défavorable de l'année. Et puis déterminer en deuxième calcul la surface totale de captage requise pour produire cette énergie calorifique ($\mathbf{E_j}$), et enfin déduire nombre de capteurs thermiques adéquats.

c. La tuyauterie :

la tuyauterie, ses dimensions selectionnées sont données au **tableau 3.7**.

Emplacement	Longueur (m)	Nombre
Entre la Chaudière d'appoint et le ballon de stockage	1	2
Entre le capteur solaire thermique et le ballon de stockage	8	2
La longueur totale		18 m

Tableau 3.7 : Résultats du dimensionnement de la tuyauterie.

3.6 Conclusion

Dans ce chapitre on a effectué un calcul du besoin énergétique pour la production d'eau chaude sanitaire, l'application numérique de la méthode du dimensionnement nous a permis de déduire que, pour couvrir le besoin en ECS d'une famille de 8 personnes par d'évaluer l'énergie calorifique nécessaire, déterminer la surface totale de captage requise et et enfin déduire nombre de capteurs thermiques adéquats.

Chapitre IV : Etude technico-économique de l'installation solaire

4.1 Introduction :

Après avoir dimensionné l'installation de chauffage solaire et décrit les éléments du chauffage eau solaire pour réaliser une étude technico-économique afin d'estimer son coût global et pour enfin arriver à la combinaison la mieux adaptée et la plus économique.

1) Choix des capteurs solaires

On a choisi des capteurs solaires plans verticaux (Alméco-Tinox).

type	Surface (m^2)	Prix H.T (DA)	Prix T.T.C (DA)
Panneau PM	**1.79**	**25 621.2**	**30 745**
Panneau MM	**2.07**	**28 590.1**	**34 307.9**
Panneau GM	**2.42**	**32 907.6**	**39 488.9**

Tableau 4.1 : Devis estimatif de différents panneaux solaires thermiques.

- **Capteur PM :**

Selon les résultats trouvés dans le chapitre précèdent on a :

- La Surface totale de captage $S_{tot} = 6.3\ m^2$
- Le nombre de capteurs nécessaire

$$N_{P.th} = Ent\left[\frac{6.3}{1.786}\right] = Ent[3.52] = 4\ capteurs \text{ ..... (4.1)}$$

- **Capteur MM :**
  - Le nombre de capteurs nécessaire

$$N_{P.th} = Ent\left[\frac{6.3}{2.07}\right] = Ent[3.03] = 3\ capteurs. \text{ .....(4.2)}$$

- **Capteur GM :**
  - Le nombre de capteurs nécessaire

$$N_{P.th} = Ent\left[\frac{6.3}{2.42}\right] = Ent[2.60] = 3\ capteurs. \text{ ..... (4.3)}$$

type	Nombre de capteurs	Prix unitaire (DA)	Prix total (DA)
Panneau PM	**4**	**30 745**	**122 980**
Panneau MM	**3**	**34 307,9**	**102 923,7**
Panneau GM	**3**	**39 488,9**	**118 466,7**

Tableau 4.2 : Devis estimatif de différents capteurs solaires thermiques pour la cantine.

On remarque que selon le **tableau 4.2** ci-dessus, le panneau MM est le plus économique pour l'installation.

2) Choix de ballon de stockage

On a opté pour un ballon de stockage à double échangeur de 500L.

type	Prix T.T.C (DA)
BALLON TAMPON STRATIFIÉ BTSPS500	**394 421**

Tableau 4.3 : Devis estimatif du ballon de stockage proposé pour la cantine.

3) Choix de la tuyauterie

On a choisi des tuyaux de 16 (mm) de diamètre, le tableau suivant donne le devis estimatif.

Diamètre (mm)	Longueur (m)	Prix unitaire (DA/m)	Prix Totale (DA)
16	18	65	1 170

Tableau 4.4 : Devis estimatif de la tuyauterie.

4.2 Devis total du système solaire thermique

Devis total de l'installation du chauffe-eau solaire est donné dans ce qui suit:

Désignation	**Prix (DA)**
Panneaux	**102 923,7**
Ballon de stockage	**394 421**
Tuyauteries	**1 170**
Prix total de l'installation (DA)	**498 514,7**

Tableau 4.5 : Devis total de l'installation solaire thermique.

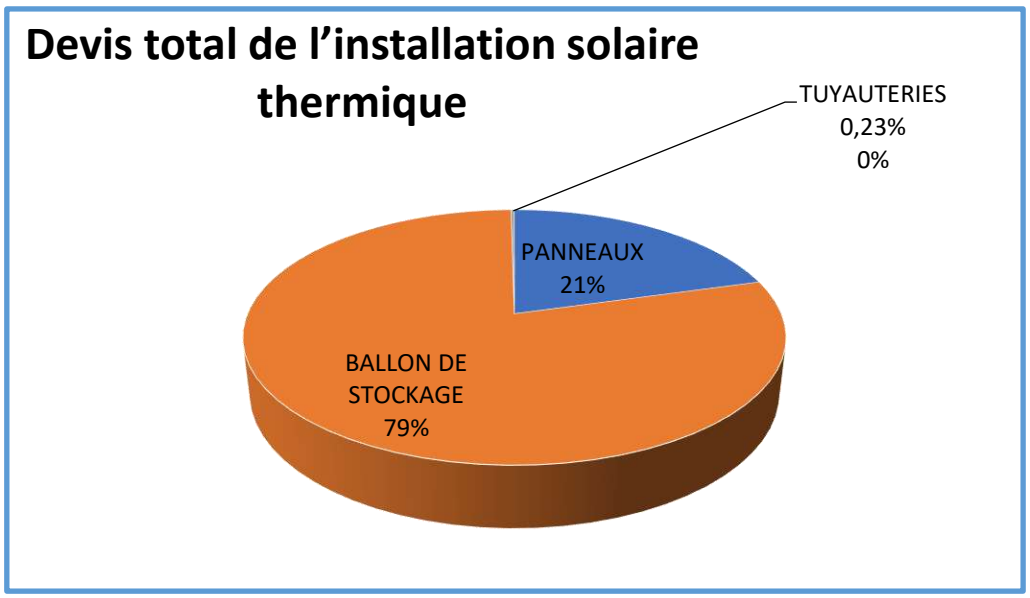


Figure 4.1 : Devis total de l'installation solaire thermique.

4.3 Comparaison entre le coût du kWh produite par l'installation thermique et celui de l'installation électrique :

L'eau chaude sanitaire étant produite au niveau des chambres par des chauffes eau électrique de puissance 1500 W, dans cette partie une comparaison est dégagée entre le cout du kWh produit par les installations thermique et électrique. Le calcul estimé est basé sur une durée de vie de l'installation thermique solaire de 25 ans [10].

L'appartement est lié à la SONELGAZ par un contrat de facturation haute tension (HT) de tarif E 54. Notons, que le tarif E 54 a la particularité de présenter par trois moins présenté dans le tableau suivant

Trimestres	Quantité **(kWh)**	Montant HT**(DA)**
1er trimestre (Janvier, Février, mars)	596	2 485.32
2émé trimestre (Avril, Mai, Juin)	967	4 653.20
3émé trimestre (Juillet, Aout, Septembre)	1192	5 735.90
4émé trimestre (Octobre, Novembre, Décembre)	879	4 229.75
Montant Annuelle	3634	17 104.17

Tableau 4.6 : Facture de consommation annuelle avec le montant

Afin d'estimer l'énergie thermique produite par l'installation thermique durant l'année, la température de l'eau froide est prise égale à 4°C pour les mois de Janvier, Février, Octobre, Novembre et Décembre et 20°C pour les mois de Mars, Avril, Mai, Juin, Juillet, Aout et Septembre.

Le calcul de l'énergie thermique produite durant l'année est présenté dans le **tableau 4.7**, sachant que le volume de l'eau chauffé pour 05 chambres et cuisine est 500 litre, La quantité d'énergie produite durant cette période est donnée dans le **tableau 4.7.**

Moins	Nombre de jour	Formule	calcul	**Résultat (KWh)**
Mars, Avril, Mai, Juin, Juillet, Aout et Septembre	214	$E_{th} = V \times C_p \times (T_{st} \times T_{ef})$	$E_{th} = 214 \times 500 \times 1.163 \times (60 - 4)$	6968,70
Janvier, Février, Octobre, Novembre et Décembre	151		$E_{th} = 151 \times 500 \times 1.163 \times (60 - 4)$	4917.06

Tableau 4.7 : L'énergie thermique annuelle produite par l'installation solaire thermique.

Energie thermique annuelle (kWh)	Energie thermique produite durant 25 ans (KWh)
11885.86	297146.5

Tableau 4.8 : L'énergie thermique annuelle produite par l'installation solaire thermique.

L'énergie électrique nécessaire pour produire la même quantité d'énergie thermique avec un rendement électrique de 93% (rendement chauffe-eau électrique avec l'épaisseur d'isolant du ballon de 12 cm), est donné dans le **tableau 4.9**.

Energie thermique annuelle (kWh)	Energie thermique produite durant 25 ans (KWh)
11053.75	276343.92

Tableau 4.9 : L'énergie électrique annuelle produite avec un rendement de 93% et cela de 25 ans.

Le cout annuel de l'énergie électrique et le cout durant la période de 25 ans sont donnés dans le **tableau 4.10**, calculé sur la base du cout d'un kWh est de 4.7067 DA

Cout annuelle d'énergie électrique (DA)	Cout de l'énergie électrique produite durant 25 ans (DA)
52 026.75	1 300 668.81

Tableau 4.10 : Le cout annuel de l'énergie électrique et le cout durant la période de 25 ans.

D'après les (**tableaux 4.5 et 4.10)**, on constate que le coût de l'installation solaire et moins que le cout de la consommation électrique pour la production de la même quantité d'énergie thermique sur 25 ans. Que le temps de retour brut, calculé est de 10 ans. Un déficit de -498 514,7 DA, est constaté au début, ensuite d'une année à une autre, il diminue de 52 026.75 DA pour s'annuler à 10 ans.

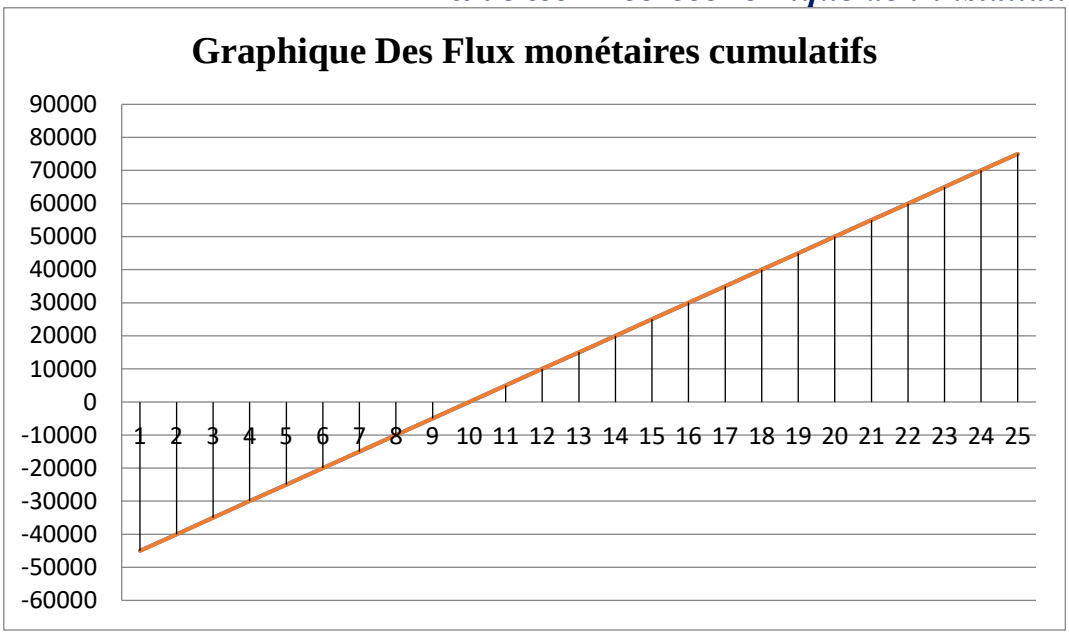


Figure 4.2 : Flux monétaires cumulatifs.

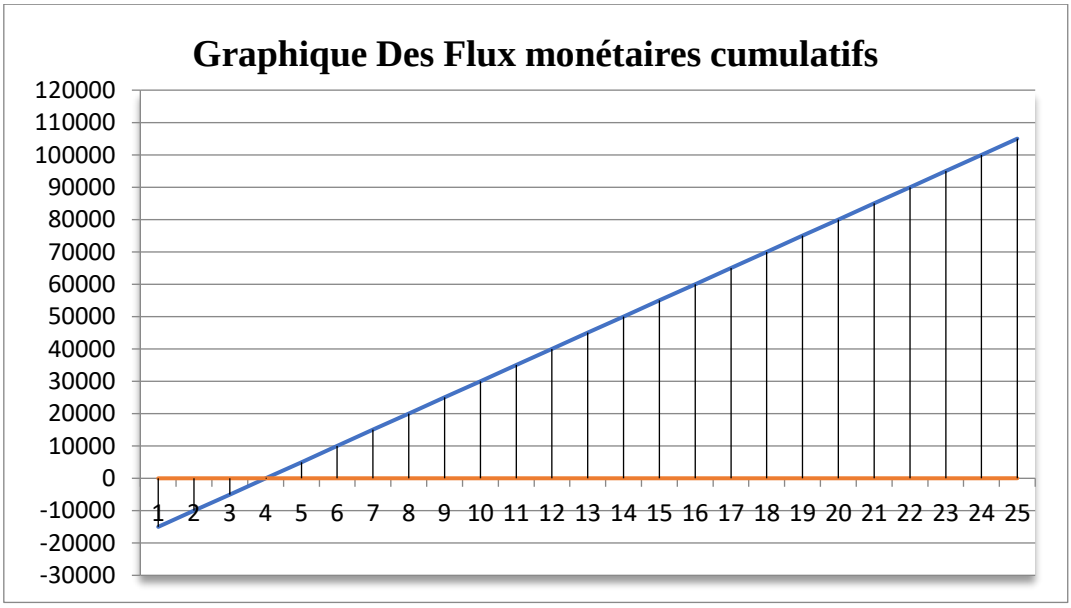


Figure 4.3 : Flux monétaires cumulatifs avec la subvention de 45% par l'APRUE

Si l'on prend en considération le coût de l'électricité égal au coût du marché international qui est en moyenne de 0,17 € par kWh (Source Wikipedia), c'est-à-dire après la concession en DA prenant 1 € = 159,15 DA on constate que le coût du kWh est égal à 27 DA. Le cout de la consommation annuelle et de 25 ans sont présentés dans le **tableau 4.11.**

Cout annuelle d'énergie électrique (DA)	Cout de l'énergie électrique produite durant 25 ans (DA)
343382,50	8584562,39

Tableau 4.11 : Le cout annuel de l'énergie électrique et le cout durant la période de 25 ans basant sur le cout international moyenne.

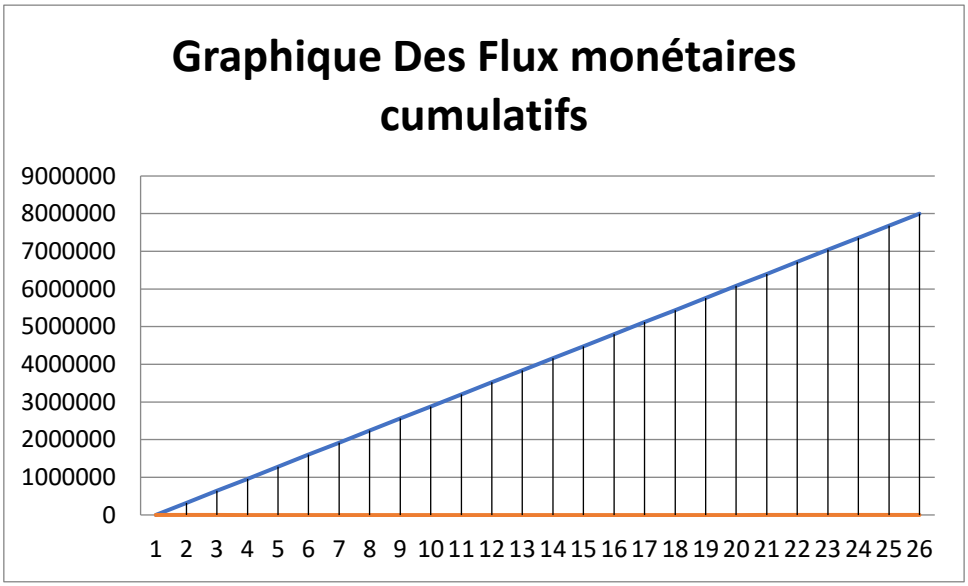


Figure 4.4 : Flux monétaires cumulatifs avec un cout d'électricité égal au cout de la marche internationale.

- **Estimation de la quantité des émissions des gaz à effet de serre (GES) équivalent à la quantité d'électricité consommée :**

Dans cette partie nous déterminons la quantité de gaz à effet de serre émise annuellement lors de la production de la quantité d'énergie électrique de 12717,8702 kWh nécessaire au chauffage de l'eau. Le calcul suppose une turbine à gaz à cycle simple courante d'un rendement thermique de 35%, de la conversion de l'énergie de combustion du gaz naturel en énergie électrique.

Les caractéristiques physiques du combustible utilisé (gaz naturel), sont mentionnées dans le **tableau 4.12**.

Combustible	PCI (J/Nm^3)	La masse volumique (kg/Nm^3)
CH_4	3,52696 x 10^7	0,76

- **Tableau 4.12 :** Les caractéristiques de combustible utilisé (gaz naturelle). [12]

• Calcul de la quantité annuelle de gaz naturel

En considérant la quantité annuelle volumique de gaz naturel consommée **tableau 4.13**, la quantité en kg consommé est . $370{,}86 \times 0.76 = 281.85\ {}^{kg}/_{an}$

Calcul de la quantité annuelle de gaz naturel			
Quantité d'énergie électrique annuelle consommée (kWh)	Rendement de la turbine à Gaz (%)	Quantité d'énergie électrique thermique produite (kWh)	quantité annuelle de gaz naturelle (Nm^3)
11053.75	35%	$\frac{11053.75}{3.5} = 3158.21\ KWh$ $= 1{,}136 \times 10^{10}$J	$\frac{1.136 \times 10^{10}}{PCI}$ $= 322.09\ Nm^3$

Tableau 4.13 : Estimation de la quantité annuelle de gaz naturel consommé.

• Estimation de la quantité de GES émise lors de la combustion du gaz naturel

Le présent calcul consiste à estimer les gaz à effet de serre (GES) issus de la combustion stationnaire du méthane, supposé le composé le plus représentant du gaz naturel.

L'inventaire des GES sera basé sur les dispositions du référentiel « Inventaire des GES de SONATRACH », établi sur la base des Lignes Directrices de GIEC 2006. Le niveau de l'inventaire choisi est le niveau 1, et les gaz quantifiés sont : le CO2, le CH4 et le N2O, et ce suite aux données présentement disponibles.

Par la méthode des facteurs d'émission, nous allons utiliser l'équation suivante pour estimer les GES (CO2, CH4, N2O) exprimés en Tonne /an :

Emissions GES (E_{GES}) = D.A x FE

D.A : Donnée d'activité ; débit du combustible consommé

FE : Facteur d'émission du GES

$$EGES\left(^{Tonne}/_{an}\right) = \frac{Débit\ du\ gaz\ combustible\ (^{kg}/_{an})}{\rho\ (^{kg}/_{Nm^3})} \times FE(^{kg}/_{tj}) \times PCI(^{Tj}/_{Nm^3}) \times 10^{-3}$$ ……..**(4.4)**

Les facteurs d'émission spécifique à chaque GES selon le référentiel de SONATRACH et pour la combustion du méthane sont donnés au tableau suivant:

Les facteurs d'émission estimés pour Gaz de combustion CH_4	
FE CO_2	**56100**
FE CH_4	**1**
FE N_2O	**0.1**

Tableau 4.14. Les facteurs d'émission estimés pour Gaz de combustion CH4.

Par l'application de l'équation [4], les quantités annuelles et durant 25 ans, estimées pour les GES lors de la combustion du méthane sont données aux **tableau 4.15**.

GES	**CO_2 (T)**	**CH_4 (T)**	**N_2O (T)**
Quantité annuelle	**179,84**	**0.0032**	**0.00032**
Quantité durant 25 ans	**4496**	**0,08**	**0,008**

Tableau 4.15 : Tableau présent l'estimation des GES par la méthode des facteurs d'émission.

4.4 Estimation des émissions totales des GES en tonne équivalent CO2

L'estimation des émissions totales des GES en équivalent CO_2 (**E_{GES} tonnes éq CO_2/an)** est calculée par la formule suivante:

$$E_{GES}(téeq\ CO_2\left(^{T}/_{an}\right) = Emission\ CO_2 \times 1 + Emission\ CH_4 \times 25 + Emission\ N_2O \times 298$$ ……..

(4.5)

Les coefficients multipliés par les émissions des gaz dans cette équation représentent successivement les pouvoirs de réchauffement global (PRG) des gaz suivants ; CO_2, CH_4 et N_2O.

Le **tableau 4.16** donne l'estimation des émissions de GES en équivalent CO_2 annuelle et pour 25 ans.

GES	**Emission du CO_2(T)**
Quantité annuelle	**180,01**
Quantité durant 25 ans	**4500,38**

Tableau 4.16 : Tableau présent l'estimation des émissions de CO_2

4.5 Conclusion

Après on a dimensionné l'installation solaire thermique dans le **chapitre III**, l'étude techno économique se révèle très importante pour l'optimisation du coût d'installation solaire globale.

Concernant ce dernier chapitre, on a commencé par une étude comparative des différents composants de l'installation solaire, dans l'objectif de trouver la combinaison la mieux adaptée et surtout la plus économique, qui permet de satisfaire les besoins de la base de vie en eau chaude sanitaire. L'étude a abouti à une installation solaire d'un devis recommandé, pour le dimensionnement requis. Dans la deuxième partie, une comparaison est dégagée pour le temps de retours sans et avec la subvention de l'APRUE. Enfin, une quantification des émissions des gaz à effet de serre en équivalent tonne CO2 a été évaluée.

Conclusion générale :

Le travail présenté dans ce mémoire concerne le dimensionnement d'une installation solaire thermique) d'un habitat situé dans la région de Médéa (Algérie). Les études ont été faites sur la base d'un bilan de consommation journalière établi au niveau de ce site.

Cette installation solaire est un système générateur d'énergie destiné à satisfaire les besoins énergétiques du foyer basée une autre technologie qui nécessite des capteurs solaires nommés « les capteurs thermiques ». Ces derniers transforment l'énergie rayonnante du soleil en énergie calorifique, au niveau de l'échangeur puis ses calories vont être cédées à l'eau pour le réchauffer.

Pour répondre aux exigences techniques de la charge, nous avons mené une étude détaillée concernant le dimensionnement du système solaire thermique. L'application numérique de la méthode du dimensionnement nous a permis de déduire que, pour couvrir le besoin en eau chaude sanitaire d'une famille de 8 personnes (30 litres par personne et par jour), il nous faut 3 panneaux thermiques et un ballon de 500 Litres afin de stocker suffisamment d'eau chaude.

Après avoir dimensionné les composants de l'installation solaire, une étude technico-économique s'est avérée nécessaire pour l'optimisation du coût de l'installation.

L'avancement technologique dans le domaine solaire a fait apparaitre de nouvelle génération de panneaux solaires plus performants comme les panneaux PV bifacial qui ont le pouvoir de convertir le rayonnement en courant électrique avec les deux faces, et les panneaux solaires hybrides qui peuvent générer à partir de l'énergie rayonnante du soleil, une énergie électrique et calorifique à la fois. Les scientifiques visent aujourd'hui à augmenter la durée de conservation de la chaleur d'eau dans le ballon de stockage en travaillant sur l'amélioration des matières constituantes de ce dernier, avec la focalisation des pays industrialisés sur le développement et le perfectionnement des éléments de l'installation solaire, ce domaine sera de plus en plus rentable.

Bibliographie:

[1] : www.dateandtime.info

[2] : App Météonorm software version 5.1

[3] : www.lepanneausolaire.net (consulté le 13/04/2019)

[4] : J. F. Sacadura, « Initiation aux transferts thermiques », CAST, INSA de Lyon, Editions technique et documentation, 2015.

[5] : B. Nadjim, « Modélisation du Comportement Thermique de Quelques Dispositifs Solaires » Thèse de doctorat, Présentée à l'université abou-bakr belkaïd – tlemcen, Année Universitaire 2008 ~ 2009.

[6] : www.tecsol.fr (consulté le 24/04/2019).

[7] : www.wattswater.fr (consulté le 02/05/2019).

[8] : www.arer.org (consulté le 02/05/2019).

[9] : P. BREJONT, Calcul prévisionnel des consomations d'energie batiments non résidentils, collection de guides de L'AICVE, juillet 2000.

[10] : M. D. SIMONET, 'guide au dimensionnement des appareils de production d'eau chaude sanitaire', Institut de Conseils et d'Études en Développement Durable Wallon A.S.B.L, 2015.

[11] : G. Guihéneuf, 'Comprendre et dimensionner les installations domestiques à énergies renouvelables', 2009, p103 à 137.

[12] : Support de cours de '' Approche environnementale et bilan carbone '', Institut Algerian du Pétrole, 2