

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبي بكر بلقايد - تلمسان

Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen –
Faculté de TECHNOLOGIE



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme** de **MASTER**

En : Génie mécanique

Spécialité : Energies renouvelables en mécanique

Par :

Djalil Zayed

Dif Mohamed Nadir

Sujet

**Contribution à l'amélioration de production d'eau chaude sanitaire
par les capteurs solaires**

Soutenu publiquement, le / / , devant le jury composé de :

Mme BENAHMED Lamia	MCB	Université de Tlemcen	Président
Mme OURRAD Soumia	MAB	Université de Tlemcen	Examineur
M. ROSTANE Brahim	MCA	Université de Tlemcen	Encadreur

Année universitaire : 2023 /2024

ملخص

الهدف من هذا العمل هو إنتاج المياه الساخنة الصحية باستخدام الطاقة الشمسية. يتكون النظام النموذجي من أربع مكونات رئيسية: نظام التجميع، التخزين، الدعم، والتوزيع. يجب تصميم الغطاء الشمسي بحيث يلبي احتياجات المياه الساخنة للسكان المستهدفين، كما يجب تصميم النظام لتقليل فقدان الحرارة الزائد وتقليل الاعتماد على نظام الدعم.

يعمل نظام إنتاج المياه الساخنة الصحية عبر عدة مراحل. تقوم المجمعات الشمسية بتحويل الإشعاع الشمسي إلى حرارة من خلال ممتص، غالبًا ما يكون مكونًا من جسم أسود. ثم تُنقل هذه الحرارة إلى سائل ناقل للحرارة، عادةً ماء جليكولي، الذي يدور عبر كل مجمع. عندما يتجاوز الفرق في درجة الحرارة بين بضعة درجات، تعمل المضخات الدوارة. يقوم السائل (T2) ومستشعر قاع الخزان (T1) بمستشعر المجمع الناقل للحرارة بنقل الطاقة الشمسية المجمعة إلى خزان أو أكثر عبر مبادل حراري. تقوم الخزانات بتخزين الحرارة المنتجة. إذا لزم الأمر، يقوم مصدر طاقة دعم بتسخين الماء المُسخن مسبقًا إلى درجة الحرارة المطلوبة قبل توزيعه إلى نقاط الاستخدام. يتحكم جهاز تنظيم إلكتروني في تشغيل النظام بالكامل، حيث يقوم بتشغيل المضخات الدوارة والدعم حسب ظروف الإشعاع الشمسي واحتياجات المياه الساخنة.

يتيح هذا النظام الاستخدام الفعال للطاقة الشمسية لإنتاج المياه الساخنة الصحية مع تقليل الاعتماد على مصادر الدعم التقليدية.

الكلمات المفتاحية: الماء الساخن المنزلي، الطاقة الشمسية، النظام الاحتياطي، المجمعات الشمسية، سائل نقل الحرارة، صهاريج التخزين .

Abstract

The objective of this work is to produce domestic hot water using solar energy. A typical system includes four main components: the collection system, storage, auxiliary system, and distribution. The solar coverage should be sized to meet the hot water needs of the target population, and the system should be designed to minimize excessive heat losses and reduce reliance on an auxiliary system.

A domestic hot water production system operates in several stages. Solar collectors transform solar radiation into heat via an absorber, often made of a black body. This heat is then transferred to a heat transfer fluid, generally glycolated water, circulating through each collector. When the temperature difference between the collector sensor (T1) and the bottom tank sensor (T2) exceeds a few degrees, the circulators activate. The heat transfer fluid then transports the captured solar energy to one or more storage tanks through a heat exchanger. The storage tanks accumulate the produced heat. If necessary, an auxiliary energy source heats the preheated water to the desired temperature before it is distributed to the points of use. An electronic regulation device controls the entire system, activating the circulators and the auxiliary system based on solar radiation conditions and hot water demand.

This system allows for the efficient use of solar energy to produce domestic hot water while minimizing the reliance on conventional auxiliary sources.

Keywords: domestic hot water, Solar energy, Backup system, Solar collectors, Heat transfer fluid, Storage tanks

Résumé

L'objectif de ce travail est la production de l'eau chaude sanitaire à l'aide de l'énergie solaire, un système typique comprend quatre composantes principales : le système de collecte, de stockage, d'appoint et de distribution. La couverture solaire doit être dimensionnée pour répondre aux besoins en eau chaude de la population cible, et le système doit être conçu pour minimiser les pertes de chaleur excessives et réduire le recours à un système d'appoint.

Un système de production d'eau chaude sanitaire fonctionne en plusieurs étapes. Les capteurs solaires transforment le rayonnement solaire en chaleur via un absorbeur, souvent constitué d'un corps noir. Cette chaleur est ensuite transférée à un fluide caloporteur, généralement de l'eau glycolée, qui circule à travers chaque capteur. Lorsque la différence de température entre la sonde du capteur (T1) et la sonde en fond de ballon (T2) dépasse quelques degrés, les circulateurs s'enclenchent. Le fluide caloporteur transporte alors l'énergie solaire captée vers un ou plusieurs ballons de stockage à travers un échangeur. Les ballons de stockage accumulent la chaleur produite. Si nécessaire, une source d'énergie d'appoint chauffe l'eau préchauffée à la température souhaitée avant qu'elle ne soit distribuée vers les points de puisage. Un dispositif de régulation électronique contrôle l'ensemble du système, activant les circulateurs et l'appoint en fonction des conditions d'ensoleillement et de la demande en eau chaude.

Ce système permet une utilisation efficace de l'énergie solaire pour produire de l'eau chaude sanitaire tout en minimisant le recours à des sources d'appoint conventionnelles.

Mots clés : l'eau chaude sanitaire, Énergie solaire, Système d'appoint, Capteurs solaires, Fluide caloporteur, Ballons de stockage

Remerciement

Les mots paraissent peu expressifs lorsqu'il s'agit de remercier les gens Auxquels on est redevable.

A Monsieur ; M. ROSTANE Brahim enseignant à l'université de Tlemcen ; notre directeur de recherche. Qui grâce à lui nous avons fait ce travail. la qualité de ses appréciations et sa disponibilité nous ont été bénéfiques.

Le jury, Mme Benahmed Lamia et Mme Ourrad Soumia, Qui nous ont fait l'honneur d'examiner ce travail de recherche.

À tous les professeurs du département qui ont contribué à notre formation.

Enfin ; nos familles pour le soutien et la patience.

Qu'ils trouvent ici l'expression de notre plus haute gratitude.

Dédicace

" الحمد لله رب العالمين و الشكر لله رب العالمين, والله و لي التوكيل "

Je dédie ce travail à :

Ma chère mère, source de tendresse et de douceur pour son soutien tout au long de ma vie scolaire.

Mon cher père, qui m'a toujours soutenu et qui a fait tout son possible pour me pousser vers un futur lumineux.

mon frère Ibrahim et mes chères sœurs, qui m'ont encouragés .et soutenues beaucoup.

Notre grande famille Djalil et Benayad, grand-mère, oncles, tantes, cousins, cousines.

Nos cher (e) amis Salim, Nassim et maki.

À toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la préparation de ce travail.

Que dieu leur accorde santé et prospérité.

Djalil Zayed

Dédicace

"يا رب لك الحمد حتى ترضى، ولك الحمد إذا رضيت ولك الحمد بعد الرضا"

Avec l'aide de dieu tout puissant, j'ai pu achever ce modeste travail.

Je dédie ce travail à :

Mes très chers parents, pour leur soutien et tous les efforts qu'ils m'ont donné le long de mon parcours et je leurs souhaite bonne santé et longue vie.

A mon cher frère et ma chère sœur.

A toute la famille DIF et BENHALIMA.

A mes très chers amis et mes proches : RYAD, ADEL, REDA et LOTFI
A 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.

DIF Mohamed Nadir

Table des matières

ملخص.....	i
Abstract	ii
Résumé	iii
Remerciement	iv
Dédicace	v
Dédicace	vi
Table des matières	vii
Table des figures.....	xi
Nomenclature	xiii
Introduction générale	1
I Chapitre 01 : Généralité sur l'énergie solaire thermique	4
1.1 Introduction	5
1.2 Caractéristiques Physiques du Soleil	5
1.2.1 Gisement Solaire.....	6
1.2.2 La déclinaison solaire (δ).....	6
1.2.3 L'angle horaire (H).....	7
1.2.4 L'azimut du soleil	7
1.2.5 La hauteur du Soleil (h)	8
1.2.6 La latitude d'un lieu	8
1.2.7 L'angle d'incidence	9
1.3 Rayonnements solaires.....	9
1.3.1 Types de Rayonnement Solaire	10
1.4 L'énergie solaire	11
1.4.1 Les types d'exploitations de l'énergie solaire	11
1.4.2 Capteur Solaire	14

1.4.3	Capteur Solaire photovoltaïque	14
1.4.4	Capteur solaire thermique.....	15
1.4.5	L'absorbeur	19
1.4.6	Ballon Solaire	20
1.4.7	Régulateur.....	21
1.4.8	Échangeur de chaleur.....	21
1.4.9	La chaudière.....	23
1.4.10	Isolation thermique	24
1.4.11	Les fluides caloporteurs	24
1.4.12	Eau chaude sanitaire	24
1.5	Conclusion.....	25
II	Chapitre 02 : Recherche bibliographique	26
2.1	Introduction	27
2.2	Les Études bibliographiques	27
2.3	Conclusion.....	37
III	Chapitre 03 : Simulation d'une installation ECS sur T-SOL	38
3.1	Introduction	39
3.2	Le principe de production d'eau chaude sanitaire	39
3.3	Principe des Capteurs Solaires Thermiques.....	39
3.3.1	Fonctionnement des Capteurs Solaires Thermiques.....	40
3.3.2	Formule de Base pour le Calcul de la Chaleur Captée	41
3.3.3	Rendement des Capteurs Solaires Thermiques.....	41
3.3.4	Le taux de couverture de panneaux solaires.....	42
3.4	Circuit de Fluide Caloporteur.....	42
3.4.1	Chaleur Transférée au Fluide Caloporteur (Q_f) :	42
3.4.2	Débit Massique du Fluide (m) :	43
3.5	Réservoir de Stockage d'Eau Chaude.....	43
3.5.1	Formules Associées	44
3.6	Principe de l'échangeur de chaleur.....	45

3.7	Retour du Fluide :.....	46
3.7.1	Calcul de l'Énergie Thermique Perdue par le Fluide Caloporteur.....	46
3.7.2	Calcul de l'Énergie Thermique Absorbée par le Fluide Caloporteur.....	47
3.8	Logiciel T-SOL :.....	48
3.8.1	Définition.....	48
3.8.2	Fonctionnalités Principales.....	48
3.8.3	Les étapes de simulation d'un projet dans T-SOL.....	50
3.9	L'étude d'un projet du maison pour l'ECS et Chaudière :.....	55
3.9.1	Les Données météorologiques de la maison.....	55
3.9.2	Eau chaude sanitaire	56
3.9.3	Chauffage.....	56
3.9.4	Installation	56
3.10	Conclusion.....	58
IV	Chapitre 04 : Résultats et Interprétations.....	59
4.1	Introduction	60
4.2	Les résultats et l'interprétation.....	60
4.2.1	Énergie délivrée par le circuit de capteurs : 21 604,95 kWh 742,13 kWh/m ²	61
4.2.2	Énergie fournie pour le chauffage eau chaude sanitaire : 13827,43 kWh	63
4.2.3	Énergie système solaire : 19 354,34 kWh	64
4.2.4	Apport d'énergie pour l'appoint : 16805,6 kWh	65
4.2.5	Économie Gaz naturel H : 2468 m ³	66
4.2.6	Émission de CO ₂ évitée : 5 219,89 kg	67
4.2.7	Énergie économisé relative d'énergie supplémentaire (DIN EN 12977) : 47,6 %	68
4.2.8	Taux de couverture total : 53,5 %.....	69
4.2.9	Rendement du système	70
4.2.10	La Température maximale journalière dans le capteur.....	71

4.2.11	Température de eau froide et eau chaude sanitaire	72
4.2.12	Part de l'énergie solaire par rapport à la consommation d'énergie	73
4.3	Bilan énergétique.....	75
4.3.1	Interprétation Générale :	76
4.4	Conclusion.....	77
	Conclusion.....	78
	Référence bibliographie	81

Table des figures

Figure I-1 : schéma pour énergie solaire photovoltaïque.....	12
Figure I-2 : schéma énergie solaire thermique.....	13
Figure I-3 : capture solaire photovoltaïque.....	14
Figure I-4 : capture solaire thermique.....	15
Figure I-5 : capteur solaire non vitré.....	16
Figure I-6 : Le capteur solaire à tubes sous vide	17
Figure I-7 : schéma de capteur solaires vitré	18
Figure I-8 : Absorbeur de l'énergie solaire	19
Figure I-9: Ballon solaire	20
Figure I-10 Echangeur de chaleur.....	22
Figure II-1 schéma hydraulique d'un système de chauffage solaire	30
Figure II-2 : Représentation schématique du SSECS utilisé pour le stockage de l'eau chaude	33
Figure II-3 : Schéma de bilan énergétique.....	34
Figure II-4 principe de fonctionnement eau chaude sanitaire tirée énergie plus 2010	35
Figure III-1 sélection de l'installation	50
Figure III-2 définir l'installation.....	51
Figure III-3 l'assistant de conception	52
Figure III-4 Définition des consommateurs.....	52

Figure III-5 Définir le champ de capteurs.....	53
Figure III-6 Assistant de conception	54
Figure III-7 Fin de simulation.....	55
Figure III-8 Installation ECS avec Ballon Chauffage Projet d'une maison	57
Figure IV-1 Énergie délivrée par le circuit de capteurs	61
Figure IV-2 Énergie fournie pour le chauffage eau chaude sanitaire	63
Figure IV-3 Énergie système solaire	64
Figure IV-4 Apport d'énergie pour l'appoint	65
Figure IV-5 Économie Gaz naturel H	66
Figure IV-6 Émission de CO2 évitée	67
Figure IV-7 Taux de couverture total	69
Figure IV-8 Rendement du système.....	70
Figure IV-9 La Température maximale journalière dans le capteur	71
Figure IV-10 Température de eau froide et eau chaude sanitaire	72
Figure IV-11 Part de l'énergie solaire par rapport à la consommation d'énergie	73
Figure IV-12 Le schéma du bilan énergétique	75

Nomenclature

- Q : La quantité de chaleur captée (W).
- A : La surface du capteur (m^2).
- G : L'irradiance solaire incidente sur le capteur (W/m^2).
- η : Le rendement du capteur (sans unité, typiquement une valeur entre 0 et 1).
- a : Le coefficient de perte thermique ($W/(m^2 \cdot ^\circ C)$).
- T_m : La température fluide ($^\circ C$).
- Q_f : La chaleur transférée (j ou kwh).
- m' : Le débit massique du fluide caloporteur (Kg/s).
- c_p : La capacité calorifique du fluide généralement $4186 J/(kg^\circ C)$.
- ΔT : La différence de température du fluide entre l'entrée et la sortie ($^\circ C$).
- V : Le volume du réservoir (l).
- U : Le coefficient global de transfert de chaleur ($W/(m^2 \cdot ^\circ C)$).
- t : Le temps pendant lequel la perte de chaleur est calculée (h).
- $\eta_{\text{réservoir}}$: L'efficacité du réservoir.
- δ : Déclinaison solaire en degrés.
- N : Jour de l'année, avec le 1er janvier étant $N=1$.
- H : Angle horaire en degrés.
- T_{actuel} : Temps solaire (h)
- φ : La latitude de l'observateur
- Z : est la distance verticale du lieu par rapport à l'équateur (mètres).
- R : est le rayon moyen de la Terre en unités de longueur.
- N : est le vecteur normal.
- L : est le vecteur du rayon

Introduction générale

Avec la prise de conscience croissante des enjeux environnementaux et des coûts énergétiques, les solutions renouvelables pour la production d'énergie sont devenues essentielles. L'utilisation de l'énergie solaire pour produire de l'eau chaude sanitaire répond à cette exigence en exploitant une ressource abondante et gratuite : le soleil. Les capteurs solaires thermiques, qui convertissent directement le rayonnement solaire en chaleur, sont au cœur de ce système.

La production d'eau chaude sanitaire (ECS) par capteurs solaires thermiques représente une technologie éprouvée et efficace pour exploiter l'énergie solaire. Cette méthode offre une alternative durable et économique aux systèmes de chauffage conventionnels, réduisant ainsi la dépendance aux combustibles fossiles et les émissions de gaz à effet de serre. Les capteurs solaires thermiques captent le rayonnement solaire et le convertissent en chaleur, laquelle est ensuite transférée à un fluide caloporteur circulant dans un circuit fermé. Cette chaleur est ensuite stockée dans des ballons de stockage pour être utilisée selon les besoins, même en l'absence de soleil direct.

Dans ce contexte, ce mémoire vise à approfondir les connaissances sur la production d'eau chaude sanitaire à l'aide de capteurs solaires thermiques, en se concentrant sur les principes de fonctionnement, les avantages et les défis associés à cette technologie, ainsi que les outils disponibles pour la modélisation et la simulation des systèmes solaires thermiques.

Le premier chapitre de ce mémoire présente une vue d'ensemble de l'énergie solaire, en détaillant ses caractéristiques, son potentiel et son importance dans le contexte actuel de transition énergétique. On y explore les différentes technologies solaires, notamment les systèmes photovoltaïques et thermiques, avec une attention particulière portée aux capteurs solaires thermiques utilisés pour la production d'eau chaude sanitaire.

Le deuxième chapitre se consacre à une étude bibliographique approfondie sur la production d'eau chaude sanitaire par capteurs solaires thermiques. Il examine les

différentes typologies de chauffe-eaux solaires et les chaudières associées, en mettant en évidence les avantages et les inconvénients de chaque système.

Le troisième chapitre aborde les principes fondamentaux de la production d'eau chaude sanitaire à l'aide de capteurs solaires thermiques. Il fournit une définition complète du logiciel T-Sol, en expliquant son principe de fonctionnement et les étapes nécessaires pour réaliser une simulation efficace. Des exemples concrets de simulations effectuées avec T-Sol sont présentés, illustrant les différentes configurations possibles et les résultats attendus.

Enfin, le dernier chapitre présente les résultats obtenus à partir des simulations réalisées avec le logiciel T-Sol. Ces résultats sont accompagnés de diagrammes et de graphiques explicatifs, permettant une interprétation claire et détaillée des performances des systèmes solaires thermiques simulés. Les conclusions tirées de cette étude sont également discutées, soulignant les points forts et les limitations des systèmes solaires thermiques pour la production d'eau chaude sanitaire. Le chapitre conclut avec des recommandations pour des recherches futures et des améliorations possibles.

Finalement, cette thèse vise à fournir une compréhension approfondie et détaillée de l'utilisation de capteurs solaires thermiques avec une production améliorée d'eau chaude sanitaire, tout en démontrant l'efficacité et les avantages environnementaux de cette technologie renouvelable.

I Chapitre 01 : Généralité sur l'énergie solaire thermique

1.1 Introduction

En raison de l'épuisement progressif des ressources énergétiques fossiles et de la demande croissante en électricité dans les constructions, il est impératif de concevoir de nouvelles solutions adaptées à ces défis contemporains. L'énergie solaire thermique émerge comme une option prometteuse pour instaurer une transition énergétique durable et respectueuse de l'environnement. En captant directement la chaleur du soleil, cette forme d'énergie offre une alternative propre et renouvelable pour répondre aux besoins en chauffage et en eau chaude sanitaire. Dans ce chapitre, nous explorerons le domaine de l'énergie solaire thermique, en examinant ses principes fondamentaux, ses diverses applications.

Le Soleil est l'étoile centrale du système solaire, essentiel à la vie sur Terre. Il fournit la lumière et la chaleur nécessaires à la survie des êtres vivants et joue un rôle clé dans les processus climatiques et météorologiques [1].

1.2 Caractéristiques Physiques du Soleil

- **Masse** : Le Soleil a une masse d'environ $2 \times 10^{30} \times 10^{30}$ kg, soit environ 333 000 fois celle de la Terre. Cette immense masse génère une force gravitationnelle qui maintient les planètes et autres objets en orbite autour de lui.
- **Rayon** : Son rayon est d'environ 696 340 km, ce qui est environ 109 fois celui de la Terre. Cette grande taille contribue à son influence gravitationnelle et énergétique.
- **Densité** : La densité moyenne du Soleil est de $1\,400 \text{ kg/m}^3$, ce qui est relativement faible par rapport aux matériaux terrestres, mais typique pour une étoile.

- **Âge** : Le Soleil a environ 4,6 milliards d'années, et il est actuellement dans la séquence principale de son évolution stellaire, où il fusionne de l'hydrogène en hélium dans son noyau.

1.2.1 Gisement Solaire

Le gisement solaire correspond à la quantité d'énergie solaire disponible pour être convertie en chaleur ou en électricité. Cette énergie provient du rayonnement solaire, une source d'énergie renouvelable, abondante et propre. Le potentiel de ce gisement dépend de plusieurs facteurs, tels que la position géographique, le climat, l'heure de la journée et la saison. [2]

1.2.2 La déclinaison solaire (δ)

La déclinaison solaire correspond à l'angle formé entre la direction du Soleil et le plan de l'équateur céleste. Cet angle change au fil de l'année à cause de l'inclinaison de l'axe de rotation de la Terre par rapport à son orbite autour du Soleil.

La déclinaison solaire (δ) peut être calculée à l'aide de la formule suivante :

$$\delta = 23.45^\circ \times \sin\left(\frac{360}{365} \times (N + 10)\right) \quad (\text{I.1})$$

Où :

- δ : Déclinaison solaire en degrés.
- N: Jour de l'année, avec le 1er janvier étant N=1.
- 23.45° : Elle représente l'angle formé entre la direction du soleil et le plan équatorial.

1.2.3L'angle horaire (H)

L'angle horaire (H) est un concept crucial en astronomie et en navigation. Il mesure l'angle entre la ligne reliant un observateur à la position du Soleil et le plan vertical (direction nord-sud) de l'observateur. Cet angle est couramment utilisé pour déterminer la position du Soleil dans le ciel à un moment précis.

L'angle horaire peut être calculé à l'aide de la formule suivante :

$$H = 15^\circ \times (T_{\text{actuel}} - T_{\text{méridien}}) \quad (\text{I.2})$$

Où :

- H : Angle horaire en degrés.
- T_{actuel} : Temps solaire actuel de l'observateur en heures.
- $T_{\text{méridien}}$: Temps solaire au méridien du lieu en heures.

1.2.4L'azimut du soleil

Mesure l'angle horizontal d'un objet par rapport au nord, dans le sens horaire de 0° à 360° . [3]

$$\text{Azimut} = \arcsin\left(\frac{\sin(H)}{\cos(\varphi)}\right) \quad (\text{I. 3})$$

- • H : L'angle horaire du Soleil.
- • φ : La latitude de l'observateur.

1.2.5 La hauteur du Soleil (h)

La hauteur du Soleil désigne l'angle vertical entre la position actuelle du Soleil et l'horizon local de l'observateur. Cette mesure est cruciale pour déterminer la position apparente du Soleil dans le ciel à divers moments de la journée et à différents endroits sur Terre.

La hauteur du Soleil (h) peut être calculée à l'aide de la formule suivante :

$$h = \arcsin(\sin(\varphi) \times \sin(\delta) + \cos(\varphi) \times \cos(\delta) \times \cos(H)) \quad (I.4)$$

- h : Hauteur du Soleil en degrés.
- φ : Latitude de l'observateur en degrés.
- δ : Déclinaison solaire en degrés.
- H : Angle horaire du Soleil en degrés.

1.2.6 La latitude d'un lieu

La latitude d'un lieu est une mesure angulaire indiquant sa position nord-sud par rapport à l'équateur terrestre. Exprimée en degrés, elle peut être au nord (latitude positive) ou au sud (latitude négative) de l'équateur.

$$\text{Latitude} = \arcsin\left(\frac{Z}{R}\right) \quad (I.5)$$

- Z est la distance verticale du lieu par rapport à l'équateur en unités de longueur (par exemple, mètres).
- R est le rayon moyen de la Terre en unités de longueur.

1.2.7 L'angle d'incidence

L'angle d'incidence désigne l'angle formé entre un rayon lumineux incident (comme la lumière du Soleil) et la surface sur laquelle il frappe. Cet angle est essentiel dans divers domaines tels que l'optique, l'énergie solaire et la réflexion de la lumière.

L'angle d'incidence (θ_i) est calculé à l'aide de la formule suivante :

$$\theta_i = \arccos\left(\frac{\mathbf{n} \cdot \mathbf{l}}{|\mathbf{n}| \cdot |\mathbf{l}|}\right) \quad (\text{I.6})$$

- $\mathbf{n}$ est le vecteur normal à la surface.
- $\mathbf{l}$ est le vecteur du rayon lumineux incident.

1.3 Rayonnements solaires

Le rayonnement solaire reçu par une surface de 1 m² est typique du rayonnement solaire sur Terre sans (ou au-dessus) d'atmosphère et s'élève à 1 368 Watt/m². Nous appelons cela la lumière du soleil permanente. Toutes ces forces n'atteignent pas la surface de la Terre. L'atmosphère est dessinée, étalée et reflète une très grande surface car le niveau de l'atmosphère traversée est grand et donc l'altitude du Soleil est petite. Le rayonnement solaire qui atteint finalement la Terre a une composante indirecte (rayonnement du soleil), une composante diffuse (le flux de l'atmosphère) et une composante réfléchie (la partie du flux absorbée par le mur après avoir été réfléchie par l'environnement.). Le rayonnement solaire consiste en un spectre continu allant de l'ultraviolet (10 %) à l'infrarouge (50 %) en passant par le visible (40 %), où il émet le plus d'énergie. Certaines longueurs d'onde (notamment dans le domaine ultraviolet et visible) perdent de grandes quantités d'énergie lorsqu'elles atteignent la Terre en raison de leur absorption par l'eau, l'azote, le dioxyde de carbone et l'ozone. [4]

1.3.1 Types de Rayonnement Solaire [5]

1.3.1.1 Rayonnement Direct

- **Définition** : C'est la partie du rayonnement solaire qui atteint directement la surface de la Terre sans être diffusée par l'atmosphère.
- **Caractéristique** : Il est intense et peut être concentré, ce qui le rend particulièrement efficace pour les systèmes utilisant des miroirs ou des lentilles, comme les centrales solaires thermiques à concentration.

1.3.1.2 Rayonnement Diffus

- **Définition** : C'est la partie du rayonnement solaire qui a été dispersée par les molécules et les particules dans l'atmosphère avant d'atteindre la surface terrestre.
- **Caractéristique** : Il est plus uniforme et moins intense que le rayonnement direct, mais il permet néanmoins une certaine production d'énergie, notamment pour les panneaux photovoltaïques, même par temps nuageux.

1.3.1.3 Rayonnement Global

- **Définition** : C'est la somme du rayonnement direct et diffus qui atteint une surface horizontale au sol.
- **Caractéristique** : Il représente l'ensemble de l'énergie solaire disponible pour la conversion sur une surface donnée.

1.4 L'énergie solaire

L'énergie solaire est une source d'énergie qui est dépendante du soleil. Cela signifie que la matière première est le soleil. Elle se place dans la catégorie des énergies renouvelables puisqu'on la considère comme inépuisable. On dit aussi que c'est une énergie 100% verte car sa production n'émet que peu de CO₂.

Cette énergie permet la production d'électricité. Il fonctionnera à l'énergie solaire ou à l'électricité. Ces appareils absorbent la lumière du soleil. Ils convertissent ensuite l'énergie solaire en électricité ou en chaleur. Les panneaux solaires captant cette énergie peuvent être installés de diverses manières : écrans solaires, centrales électriques industrielles ou agricoles, sols, etc. [6]

Indirectement, l'énergie solaire est aussi la source de la plupart des énergies renouvelables et des hydrocarbures fossiles. Elle est en effet responsable de la mise en mouvement des masses d'eau (énergies marines) et d'air (énergie éolienne), du cycle de l'eau (énergie hydraulique) et de la photosynthèse (biomasse et hydrocarbures). Seuls trois types d'énergie ne dérivent pas de l'énergie solaire : L'énergie marémotrice ; L'énergie géothermique ; L'énergie nucléaire.

1.4.1 Les types d'exploitations de l'énergie solaire

1.4.1.1 Energie Photovoltaïque

L'énergie solaire photovoltaïque résulte de la transformation de la lumière du soleil en électricité, réalisée à l'intérieur de matériaux semi-conducteurs tels que le silicium, parfois recouverts d'une fine couche métallique. Ces matériaux photosensibles présentent la capacité de libérer des électrons sous l'influence d'une énergie extérieure, un phénomène connu sous le nom d'effet photovoltaïque.

Les photons, composants de la lumière solaire, apportent l'énergie nécessaire en heurtant les électrons et en les libérant, ce qui induit un courant électrique. Ce courant, généralement continu et de faible puissance, est mesuré en watt-crête (Wc). Il peut ensuite être converti en courant alternatif par un dispositif appelé onduleur. L'électricité produite peut être utilisée directement ou stockée dans des batteries, ce qui permet une utilisation décentralisée de l'énergie électrique. Alternativement, elle peut être injectée dans le réseau électrique pour une utilisation ultérieure par d'autres consommateurs. [7]

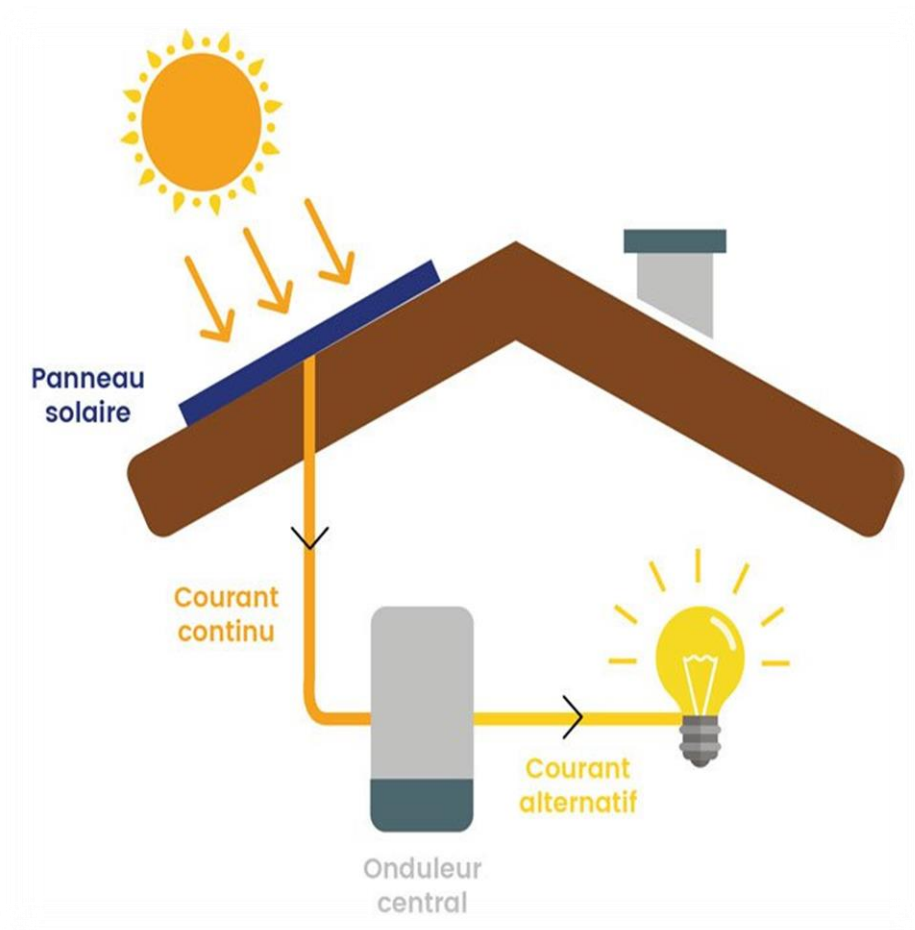


Figure I-1 : schéma pour énergie solaire photovoltaïque

1.4.1.2 Energie Thermique

L'énergie solaire thermique implique la conversion immédiate de l'énergie des rayons solaires en énergie thermique. Cette conversion peut être directement utilisée, par exemple pour chauffer l'eau grâce à des capteurs solaires, ou indirectement dans le cadre de la production d'électricité dans une centrale solaire thermodynamique. Contrairement à la technologie photovoltaïque où l'électricité est produite par l'énergie des photons, le solaire thermique repose sur l'utilisation de la chaleur transmise par rayonnement. Grâce aux avancées technologiques, les techniques de captation directe de l'énergie solaire sont considérablement améliorées pour rendre les systèmes solaires plus fiables, efficaces et rentables. [8]

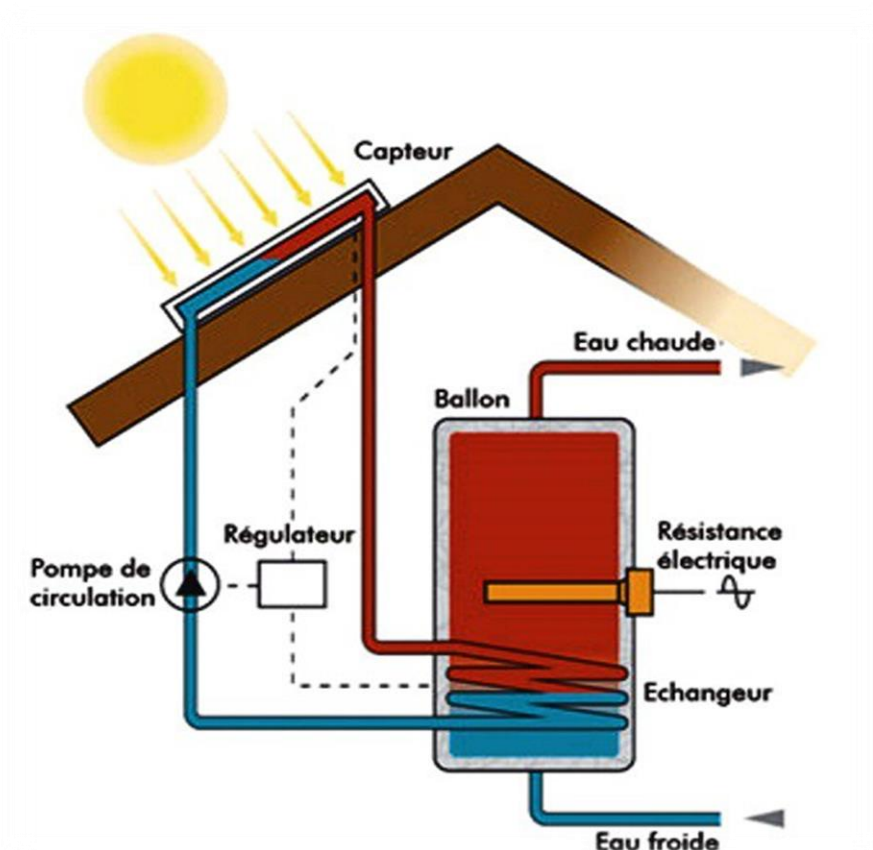


Figure I-2 : schéma énergie solaire thermique

1.4.2Capteur Solaire

Un capteur solaire est un dispositif conçu pour convertir l'énergie du soleil en énergie utilisable, comme de la chaleur ou de l'électricité. Il existe différents types de capteurs solaires, notamment les capteurs solaires thermiques, qui utilisent la chaleur du soleil pour chauffer un fluide, et les capteurs solaires photovoltaïques, qui convertissent la lumière du soleil directement en électricité. Les capteurs solaires sont devenus de plus en plus populaires en raison de leur capacité à fournir une source d'énergie renouvelable et durable.

1.4.3Capteur Solaire photovoltaïque

Le Capteur Solaire photovoltaïque Ou (panneau solaire photovoltaïque) est un dispositif qui convertit la lumière du soleil en électricité. Grâce à ses cellules technologiques, il capture les photons solaires pour générer un courant électrique. Composé de semi-conducteurs et de jonctions PN, il produit un courant continu lorsque les photons détachent des électrons des atomes, créant des charges positives et négatives. Un onduleur convertit ensuite ce courant continu en courant alternatif cette électricité peut être directement utilisée dans votre maison., prêt à être utilisé dans les foyers. Les panneaux photovoltaïques sont largement préférés pour leur efficacité, leur prix abordable et leur facilité d'installation par rapport aux panneaux hybrides. [9]

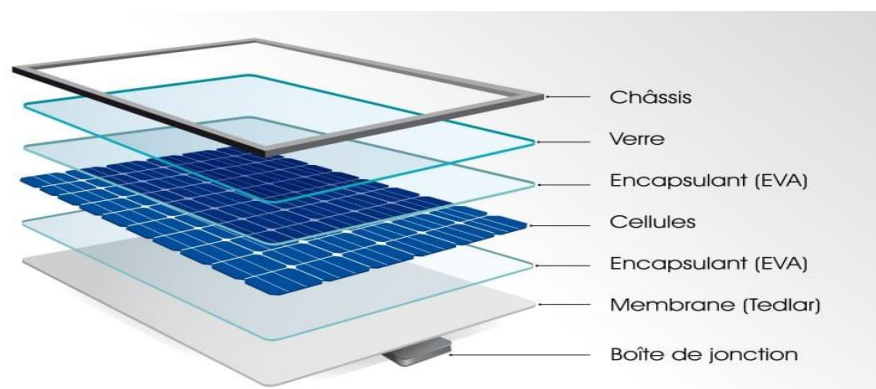


Figure I-3 : capture solaire photovoltaïque

1.4.4 Capteur solaire thermique

Le capteur solaire actif convertit l'énergie des rayons solaires en chaleur. Il nécessite une source d'électricité supplémentaire pour faire fonctionner des pompes ou des ventilateurs qui distribuent cette énergie solaire à l'intérieur du bâtiment. Cette énergie peut être acheminée vers un autre endroit pour une utilisation immédiate ou stockée pour une utilisation ultérieure. Le transfert de chaleur se fait à l'aide d'un fluide caloporteur, qui peut être de l'eau, de l'antigel ou de l'air.

Pour cela on utilise des panneaux traversés par un fluide : soit l'eau directement à chauffer (dans le cas des pays chauds hors gel), soit de l'eau additionnée d'un antigel qui servira de liquide caloporteur vers un ballon de stockage. [10]

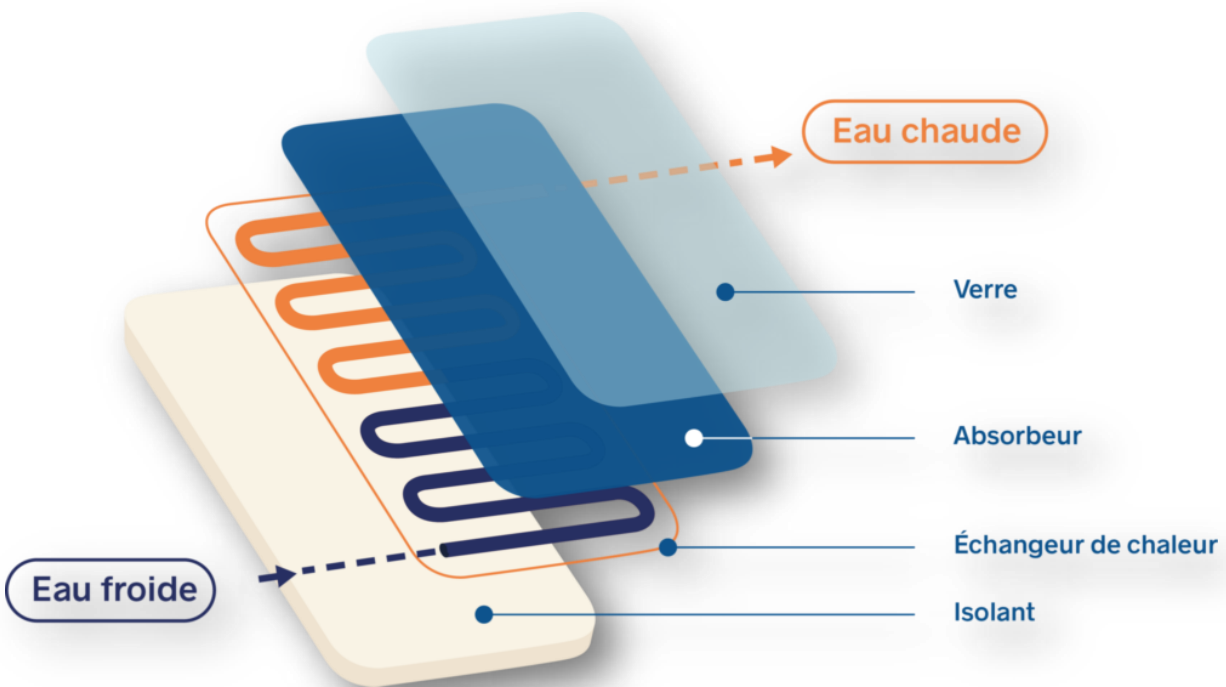


Figure I-4 : capture solaire thermique

1.4.4.1 Les types de capteur solaire thermique

Il existe trois types de capteurs solaires thermiques [11] :

1.4.4.1.1 Le capteur solaire non vitré

Le capteur solaire non vitré, également connu sous le nom de capteur "moquette", se compose d'un absorbeur en métal ou en matière synthétique enduit d'une peinture sombre et sélective. Il est associé à un ensemble de tubes cylindriques ou ovales conçus pour résister aux rayonnements ultraviolets et aux fluctuations de température. À l'intérieur de ces tubes circule de l'eau en tant que fluide caloporteur, se réchauffant au fur et à mesure de son passage. Du fait que ces capteurs solaires ne sont généralement pas isolés, la température de l'eau qui en résulte ne dépasse généralement pas les 20°C. Leur utilisation est principalement dédiée au chauffage de l'eau des piscines.

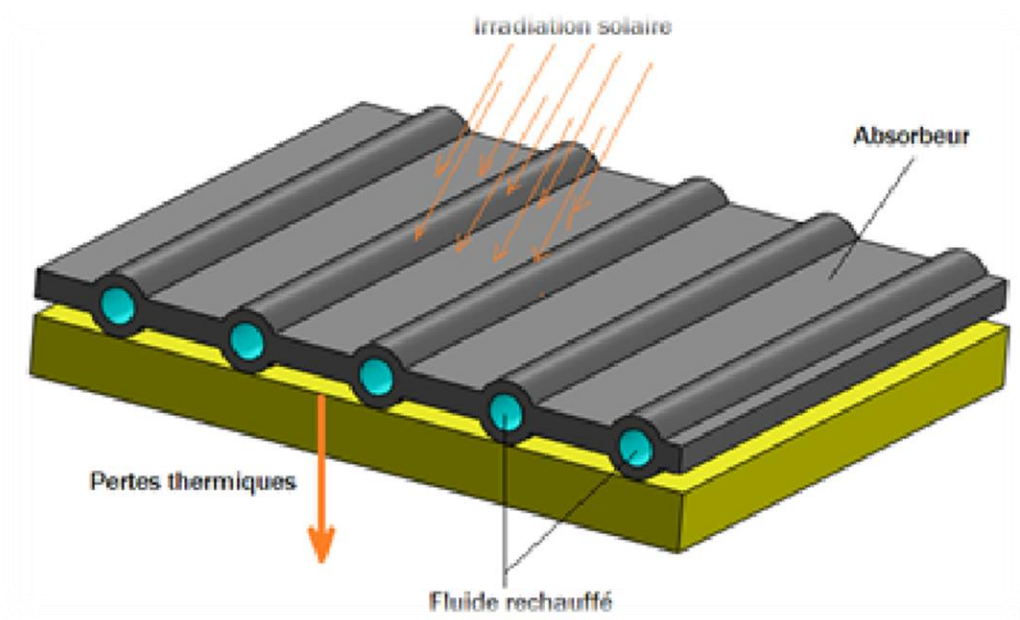


Figure I-5 : capteur solaire non vitré

1.4.4.1.2 Les capteurs solaires à tubes sous vide

Le capteur solaire sous vide est un type de capteur solaire constitué de couvertures transparentes, souvent en verre, avec un espace vide entre celles-ci et l'absorbeur. Cette conception permet de réduire considérablement les pertes de chaleur et d'obtenir un rendement supérieur à celui des capteurs plans, surtout à des températures relativement élevées. Toutefois, ces capteurs sont plus onéreux que les capteurs conventionnels et ne sont donc pas recommandés pour les systèmes de chauffe-eau solaires fonctionnant à des températures inférieures à 60 °C dans la plupart des cas. Principalement destinés à être utilisés dans les chauffe-eau solaires individuels.

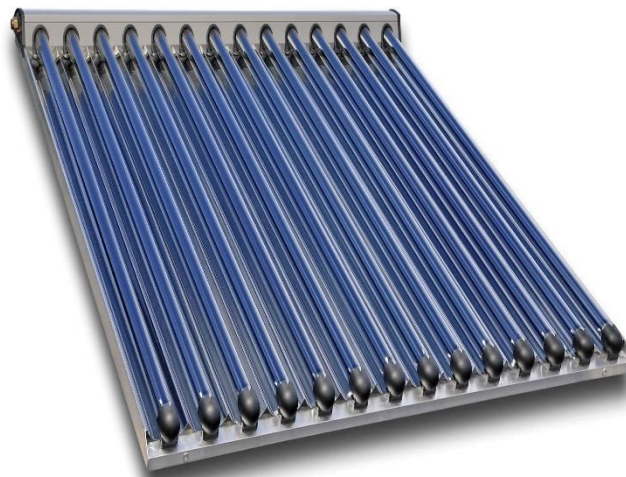


Figure I-6 : Le capteur solaire à tubes sous vide

1.4.4.1.3 Les capteurs solaires vitrés

Le capteur solaire vitré est structuré avec un boîtier isolé recouvert d'un vitrage, à l'intérieur duquel se trouve l'absorbeur, généralement un serpentin contenant le fluide à chauffer. Des ailettes noires entourent le serpentin pour améliorer son absorption de chaleur, car la couleur noire est plus efficace pour convertir la chaleur absorbée. Ce modèle intègre un matériau isolant, souvent de la laine de roche, pour protéger l'absorbeur contre les pertes de chaleur. Le vitrage est fabriqué en verre trempé, résistant aux intempéries et à la grêle, très transparent grâce à sa faible teneur en fer, et conçu pour minimiser la réflexion afin de maximiser l'absorption de chaleur. Ces capteurs solaires sont appréciés pour leur robustesse et leur simplicité de conception, ainsi que leur sophistication technique en termes de qualité du vitrage et de l'isolation, offrant un excellent rapport qualité-prix. Leur installation sur le toit est facile grâce à leur surface plane et discrète. La qualité de fabrication du boîtier (en aluminium ou en acier inoxydable), de l'isolation entourant l'absorbeur, du traitement anti-réflexion du vitrage, des joints et de l'assemblage est déterminante pour leurs performances et leur fiabilité.

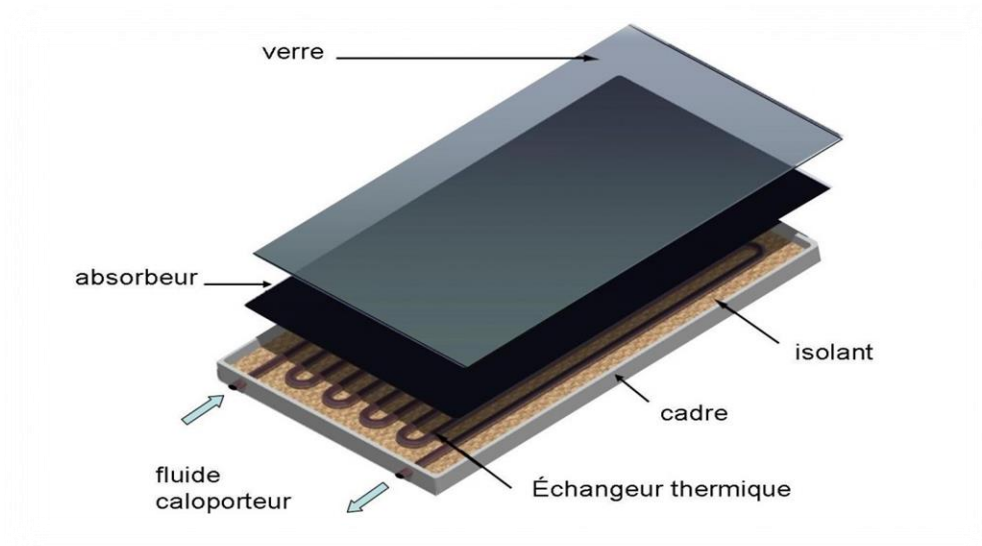


Figure I-7 : schéma de capteur solaires vitré

1.4.5L'absorbeur

L'absorbeur est un composant d'un capteur solaire thermique. Sa fonction principale est de convertir le rayonnement solaire en chaleur utilisable, ce qui permet de réaliser des économies d'énergie. En général, l'absorbeur est conçu pour absorber efficacement le rayonnement solaire et transférer la chaleur ainsi générée à un fluide caloporteur, tout en minimisant les pertes de chaleur. Pour remplir ces deux fonctions, l'absorbeur est souvent fabriqué à partir de matériaux qui ont une forte capacité d'absorption du rayonnement solaire, comme un corps noir. De plus, il est souvent intégré dans une structure qui facilite le transfert de chaleur vers le fluide caloporteur. Cette structure peut prendre différentes formes, telles qu'une plaque de métal, un serpentín vitré ou non, un tube sous vide, une bâche en plastique ou même un réservoir en plastique ou en métal.

Ainsi, l'absorbeur assure une double fonction : maximiser l'absorption du rayonnement solaire et transmettre efficacement la chaleur produite au fluide caloporteur, ce qui permet d'exploiter au mieux l'énergie solaire pour des applications thermiques. [12]

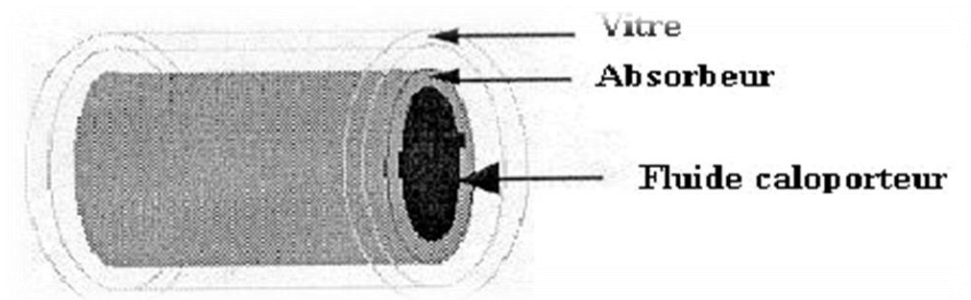


Figure I-8 : Absorbeur de l'énergie solaire

1.4.6 Ballon Solaire

Le ballon solaire est l'élément clef d'une installation solaire puisqu'il permet de pallier l'intermittence de la source d'énergie solaire et de répondre à la demande en eau chaude sanitaire. Il est important de dimensionner correctement le ballon solaire afin d'éviter les pertes excessives de chaleur et de limiter les consommations d'appoint d'énergie. Un ballon surdimensionné peut entraîner des pertes d'énergie et des déclenchements plus fréquents du système d'appoint, ce qui peut affecter l'efficacité globale de l'installation solaire. Il est donc essentiel de trouver un équilibre dans la taille du ballon solaire pour optimiser son fonctionnement.

Le ballon est divisé en deux parties : la partie supérieure abrite de l'eau maintenue à une température fixe de référence, tandis que la température de la partie inférieure est régulièrement calculée en effectuant un bilan énergétique à chaque intervalle de temps. [13]

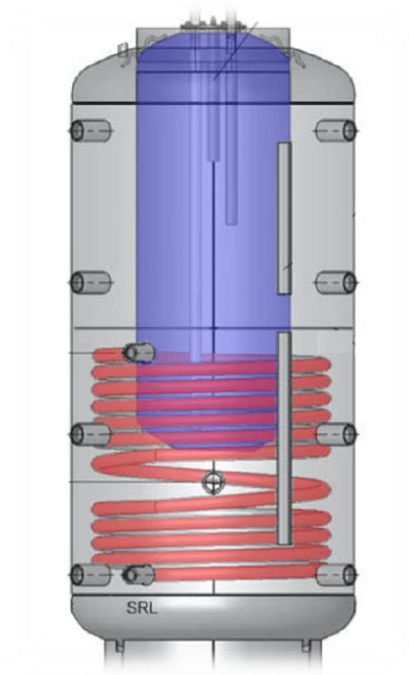


Figure I-9: Ballon solaire

1.4.6.1 Types de Réservoirs de Stockage

1.4.6.1.1 Réservoirs à simple serpentin :

Utilisés pour des systèmes solaires simples où un seul échangeur de chaleur est suffisant.

1.4.6.1.2 Réservoirs à double serpentin :

Comportent deux échangeurs de chaleur : un pour le système solaire et un autre pour une source de chauffage auxiliaire (comme une chaudière ou un chauffe-eau électrique).

1.4.6.1.3 Réservoirs avec stratification améliorée :

Conçus pour optimiser la stratification thermique, avec des dispositifs internes pour contrôler les flux d'eau et améliorer l'efficacité du chauffage.

1.4.7 Régulateur

Un régulateur d'énergie solaire thermique, également appelé contrôleur solaire thermique, est un élément crucial des systèmes de chauffage solaire de l'eau. Sa fonction principale consiste à gérer et à réguler le transfert de l'énergie thermique solaire captée par les capteurs solaires vers le système de stockage et de distribution de chaleur. [14]

1.4.8 Échangeur de chaleur

Les échangeurs de chaleur sont des dispositifs conçus pour transférer de la chaleur entre deux fluides à des températures distinctes. Habituellement, ces deux fluides ne se mélangent pas et le transfert thermique se fait à travers une surface d'échange. Dans la paroi qui sépare les deux fluides, la chaleur est principalement transmise par conduction, tandis que sur les surfaces en contact avec les fluides, la convection est généralement le processus dominant. [15]

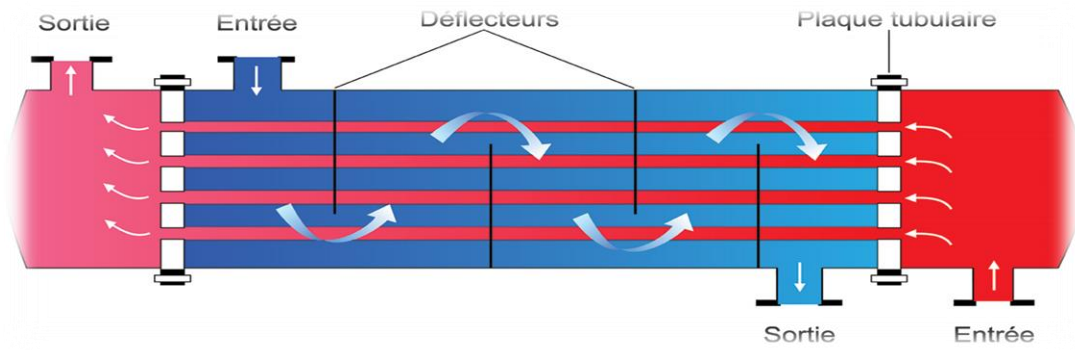


Figure I-10 Echangeur de chaleur

1.4.8.1 Types d'Échangeurs de Chaleur

1.4.8.1.1 Échangeurs à Plaques :

Les plaques séparées par des joints assurent le transfert de chaleur entre les deux fluides. Ils offrent une grande efficacité de transfert thermique dans un encombrement réduit.

1.4.8.1.2 Échangeurs à Tubes :

Les tubes concentriques ou parallèles permettent le passage des deux fluides, favorisant le transfert de chaleur. Ils sont couramment utilisés dans les systèmes solaires thermiques pour l'eau chaude sanitaire.

1.4.8.1.3 Échangeurs de Serpentinaux :

Les serpenteaux ou enroulements de tubes assurent le transfert de chaleur en faisant circuler les fluides à l'intérieur et à l'extérieur du serpent. Ils sont souvent utilisés dans les réservoirs de stockage d'eau chaude.

1.4.9 La chaudière

Une chaudière (chauffage d'appoint) peut être utilisée comme source principale ou de secours, selon les besoins. Si vous utilisez une chaudière pour chauffer l'eau sanitaire, il est important de choisir le type de chaudière approprié en fonction de vos besoins en termes de capacité, d'efficacité énergétique et de combustible disponible. Voici quelques options courantes [16]:

Chaudière à gaz : Ces chaudières utilisent du gaz naturel ou du propane comme combustible. Elles sont couramment utilisées pour le chauffage de l'eau sanitaire en raison de leur efficacité énergétique et de leur coût relativement bas par rapport à d'autres sources d'énergie.

Chaudière électrique : Les chaudières électriques sont alimentées par l'électricité et peuvent être une option pratique si vous n'avez pas accès au gaz naturel ou au propane. Elles sont également faciles à installer et ne nécessitent pas de stockage de combustible.

Chaudière à fioul : Bien que moins courantes de nos jours en raison de préoccupations environnementales et de réglementations plus strictes, les chaudières à fioul peuvent encore être utilisées pour chauffer l'eau sanitaire dans certaines régions. Elles utilisent du fioul comme combustible et nécessitent un stockage adéquat du combustible.

Chaudière mixte : Ces chaudières sont conçues pour fournir à la fois le chauffage central et l'eau chaude sanitaire. Elles offrent une solution intégrée pour les besoins de chauffage et d'eau chaude dans une maison.

Lors du choix d'une chaudière pour l'eau chaude sanitaire, assurez-vous de prendre en compte la taille de votre domicile, la consommation d'eau chaude, les coûts d'installation et de fonctionnement, ainsi que les considérations environnementales. Il est

également recommandé de faire appel à un professionnel qualifié pour l'installation et l'entretien de la chaudière afin de garantir son bon fonctionnement et sa sécurité.

1.4.10 Isolation thermique

L'isolation thermique est un ensemble de techniques et de matériaux utilisés pour réduire ou empêcher le transfert de chaleur entre deux environnements ayant des températures différentes. Son objectif principal est de minimiser les pertes de chaleur en hiver et de limiter les gains de chaleur en été, ce qui permet de maintenir des conditions de température confortables à l'intérieur des bâtiments et des installations, tout en réduisant la consommation d'énergie pour le chauffage et la climatisation. Les isolants généralement utilisés sont : le polystyrène, la laine de verre et les mousses polyuréthanes. Leur épaisseur varie de 4 à 8 cm. [17]

1.4.11 Les fluides caloporteurs

Les fluides caloporteurs sont des liquides ou des gaz utilisés dans les systèmes de chauffage, de climatisation et de production d'eau chaude pour transporter la chaleur d'un endroit à un autre. Ils sont souvent utilisés dans les systèmes de chauffage central, les panneaux solaires thermiques et les systèmes de refroidissement. Les exemples courants de fluides caloporteurs incluent l'eau, le glycol, l'huile thermique et l'ammoniac.

1.4.12 Eau chaude sanitaire

L'eau chaude sanitaire désigne simplement de l'eau chauffée pour un usage domestique, principalement pour la douche, le lavage des mains, la lessive, ou d'autres tâches ménagères nécessitant de l'eau chaude. La production d'eau chaude sanitaire est une composante essentielle des systèmes de plomberie résidentiels et commerciaux. Elle peut être fournie par divers moyens, notamment les chaudières à gaz, les chauffe-eau

électriques, les chauffe-eau solaires, ou les systèmes de chauffage centralisés. L'utilisation de l'énergie solaire pour chauffer l'eau est devenue de plus en plus populaire en raison de son caractère écologique et économique.

1.5 Conclusion

En conclusion, l'énergie solaire thermique représente une solution viable et prometteuse pour répondre aux défis énergétiques contemporains. En exploitant directement la chaleur du soleil, cette forme d'énergie offre une alternative propre et renouvelable pour répondre aux besoins en chauffage et en eau chaude sanitaire des bâtiments. Son potentiel dans la construction d'un avenir énergétique plus durable et respectueux de l'environnement est indéniable et nous le verrons dans les chapitres suivants.

II Chapitre 02 : Recherche bibliographique

2.1 Introduction

Dans ce chapitre nous avons entamé la recherche bibliographique sur la production d'ECS vise à explorer et à synthétiser les informations provenant de diverses sources, telles que les articles scientifiques, les thèses, les rapports techniques, et les publications professionnelles et les mémoires. Cette démarche offre une compréhension approfondie des différents systèmes de production d'ECS, y compris les chauffe-eaux solaires, les chaudières à gaz, les chauffe-eaux électriques, les pompes à chaleur, et les systèmes hybrides.

2.2 Les Études bibliographiques

Après la recherche que nous avons fait qui a une relation avec notre sujet « l'eau chaude sanitaire et la chaudière », nous avons sélectionné quelques travaux des chercheurs qui seront présentés dans cette partie.

Office fédéral des questions conjoncturelles (1994)

Le but est de présenter une méthode permettant de dimensionner les composants d'une installation solaire destinée à la production d'eau chaude et au chauffage des locaux, de manière simplifiée ou de manière détaillée. La méthode de calcul proposée est valable dans le cas de maisons familiales, avec une surface de captage comprise entre 5 et 50 m² et une consommation annuelle d'énergie de 50 MWh au maximum. Elle ne peut être appliquée que dans les cas où les données concernant l'objet de l'étude correspondent aux limites fixées dans ce chapitre, et s'il s'agit de bâtiments de construction usuelle. L'énergie solaire captée est stockée durant un laps de temps limité et utilisée non seulement pour la préparation d'eau chaude sanitaire, mais également pour une participation au chauffage des locaux. On ne traitera pas ici les installations solaires combinées de plus grande taille, ni d'installations pour des utilisations particulières telles que les maisons à basse consommation d'énergie ou disposant d'un stockage saisonnier. De

telles installations doivent dans tous les cas être dimensionnées par un bureau d'ingénieurs compétent. Les installations solaires combinées eau chaude et chauffage sont plus chères et moins rentables financièrement que celles prévues pour la production d'eau chaude sanitaire seule. Par contre elles augmentent l'autonomie énergétique du bâtiment et améliore son confort en mi-saison par l'apport d'énergie gratuite. [18]

Chris Laughton, paris (2012)

Les chauffe-eaux solaires présentent une variété d'installations, allant des capteurs sur les toits aux ballons de stockage intégrés. Certains capteurs peuvent être discrets, intégrés à la toiture ou placés en hauteur sur des toits plats. Les ballons d'eau chaude solaire, souvent multiples, peuvent être situés à l'intérieur ou à l'extérieur des bâtiments en fonction des conditions climatiques et des réglementations locales. Les composants tels que les pompes et les régulateurs électriques sont généralement installés à l'intérieur du bâtiment, dans des espaces dédiés. [19]

Bouhediba Malika (2012)

Ce projet visant à utiliser l'énergie solaire pour obtenir de l'eau chaude sanitaire dans une maison solaire est louable, surtout compte tenu des préoccupations liées à l'épuisement des énergies conventionnelles et de leur impact négatif. L'établissement d'un système d'équations pour modéliser le comportement thermique du capteur et des coefficients d'échange thermique est une approche solide. La simulation mathématique et l'analyse graphique des résultats fourniront une base robuste pour cette discussion. Assurer une conclusion générale et formuler des recommandations renforcera la valeur de ce travail en contribuant aux solutions énergétiques durables. [20]

MEKKI Dahbia TAHRI Fatima Zohra (2012)

Il semble que cette étude sur l'installation solaire combinée pour la production d'eau chaude sanitaire et le chauffage d'une habitation à Tlemcen soit bien structurée. La première partie offre des bases solides en présentant des notions sur le gisement solaire et les capteurs solaires. La deuxième partie, avec l'utilisation du logiciel TRANSYS version 16, démontre une approche pratique en étudiant l'influence des données climatiques spécifiques de Tlemcen sur l'efficacité de cette installation solaire. La simulation des déperditions thermiques et du comportement du système de chauffage pour une période donnée semble être une approche approfondie. Si vous avez des questions ou si vous souhaitez discuter davantage de certains aspects, n'hésitez pas à le mentionner. [21]

Duffie, J.A., Beckman, W.A. (2013)

Ce livre est une référence majeure qui couvre les principes fondamentaux des processus thermiques solaires, y compris le dimensionnement et le fonctionnement des systèmes de chauffage solaire pour la production d'eau chaude sanitaire. [22]

BENAKLI SAID OUALI , ADDAD MASSINISSA (2013)

Ce mémoire architecturé en quatre chapitres, consiste à dimensionner et simuler une installation de chauffage et production d'eau chaude sanitaire pour une maison individuelle (quatre occupants) dont la superficie est de 75 m². Le chapitre un sera consacré à la présentation du gisement solaire. Au chapitre deux nous présenterons les deux types d'installation solaire thermique (le chauffe-eau solaire et le système solaire combiné) et leurs éléments.

Au chapitre trois nous ferons tous les calculs nécessaires afin de dimensionner notre installation de manière complète (déperditions thermiques, surface de captation et volume de stockage).

Le quatrième et dernier chapitre sera consacré à la simulation d'une installation de chauffage et de production d'eau chaude sanitaire d'une maison de référence. Quatre différentes zones d'implantation en Algérie sont choisies pour leur différence du point de vue climatique (Alger, Tizi-Ouzou, Djelfa et Tamanrasset). [23]

KHELIFI ABD ERRAHMANE (2015)

Cette mémoire semble aborder de manière approfondie l'étude des systèmes solaires, en mettant particulièrement l'accent sur les capteurs solaires et leur utilité dans l'alimentation en eau chaude des régions isolées. La modélisation mathématique du système et la simulation sous le logiciel RETScreen ajoutent une dimension pratique à recherche. Il est intéressant de noter l'importance de l'accès à l'énergie et le recours aux énergies renouvelables dans le contexte mondial, avec une mention spéciale du programme de développement des énergies renouvelables en Algérie. [24]

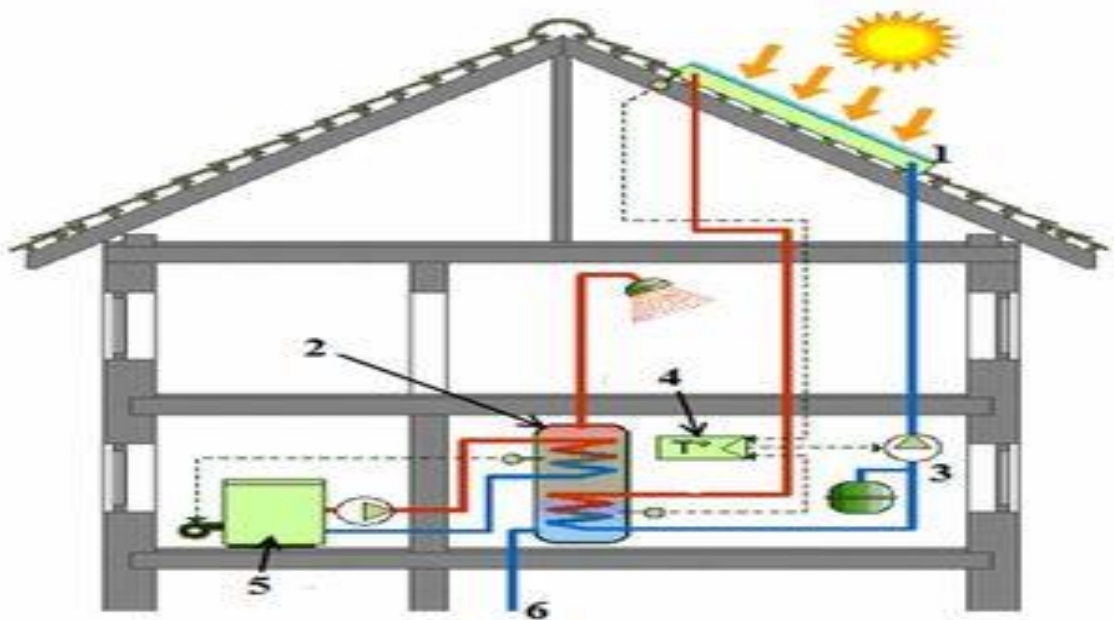


Figure II-1 schéma hydraulique d'un système de chauffage solaire

Sad arezki -damous hakim (2018)

Les chauffe-eaux solaires sont des dispositifs permettant de produire de l'eau chaude en convertissant le rayonnement solaire en chaleur. Une revue bibliographique a été effectuée pour présenter les différents capteurs solaires thermiques et chauffe-eaux solaires. Ce mémoire a permis de mettre en place un outil théorique pour étudier le transfert de chaleur dans un capteur solaire thermique avec l'eau en contact direct avec l'absorbeur et la vitre. La méthode des différences finies a été adoptée pour résoudre numériquement les équations régissant ces transferts. Les résultats de la simulation numérique ont permis d'analyser la distribution de la température de l'eau dans les différents composants de l'installation et d'examiner les performances du capteur étudié. En perspective, nous proposons de réaliser des essais pour caractériser ce chauffe-eau solaire. [25]

Fatiha Yettou (2019)

Cette chercheuse a fait l'étude et la réalisation (sous forme de programme) d'un logiciel de dimensionnement d'un chauffe-eau solaire. La méthode de dimensionnement doit être capable de gérer tous types d'installations individuel ou collectifs, le logiciel réalisé permettra d'autre part d'apporter une estimation du coût de l'installation ainsi que le temps d'amortissement de l'investissement.

Après une étude bibliographique sur le sujet, on a procédé à la programmation de la méthode de dimensionnement en s'appuyant sur des données de rayonnement considérant le cas de l'Algérie, ensuite on a réalisé la partie du logiciel concernant l'évaluation du coût adaptée au marché algérien actuel.

L'intérêt de ce travail réside ; de manière générale, dans sa contribution à la production de qualité avec un coût réduit, les tests entrepris pour vérifier la fiabilité du logiciel, montrent que le programme de travail défini initialement a été réalisé dans son

ensemble. Les résultats obtenus sont satisfaisants et ne constituent qu'une partie d'un vaste domaine. [26]

ZIANI Rahima _ MOUEDDEN Maroua (2019/2020)

Le chauffage solaire, grâce à l'utilisation de l'énergie solaire inépuisable, offre des solutions écologiques et économiques pour le chauffage domestique et la production d'eau chaude sanitaire. La simulation des systèmes solaires combinés à l'aide de GET SOLAR permettra d'optimiser ces installations en termes de rendement énergétique et de bénéfices écologiques, offrant ainsi des recommandations pour une adoption plus large de ces technologies dans les habitations. [27]

Chili nassim , Bourmel Mustapha (2020)

Le travail présenté dans ce mémoire concerne une étude sur un système de stockage d'énergie par chaleur latente pour une application d'eau chaude sanitaire grâce à un logiciels de simulation numérique COMSOL Multiphysics. L'état de l'art sur les technologies de stockage thermique et les Matériaux à Changement de Phase (MCP) fournit une base solide. La conception de la géométrie et l'interprétation des phénomènes physiques dans le logiciel montrent une démarche méthodique. Les simulations avec variation du nombre d'ailettes apportent une dimension pratique.

Il est encourageant de noter que, d'après mon expériences, l'intégration de cette technologie semble prometteuse pour optimiser la consommation d'énergie. Pour renforcer mon mémoire, vous pourriez éventuellement discuter des avantages économiques, environnementaux et pratiques de cette solution par rapport aux méthodes traditionnelles. [28]

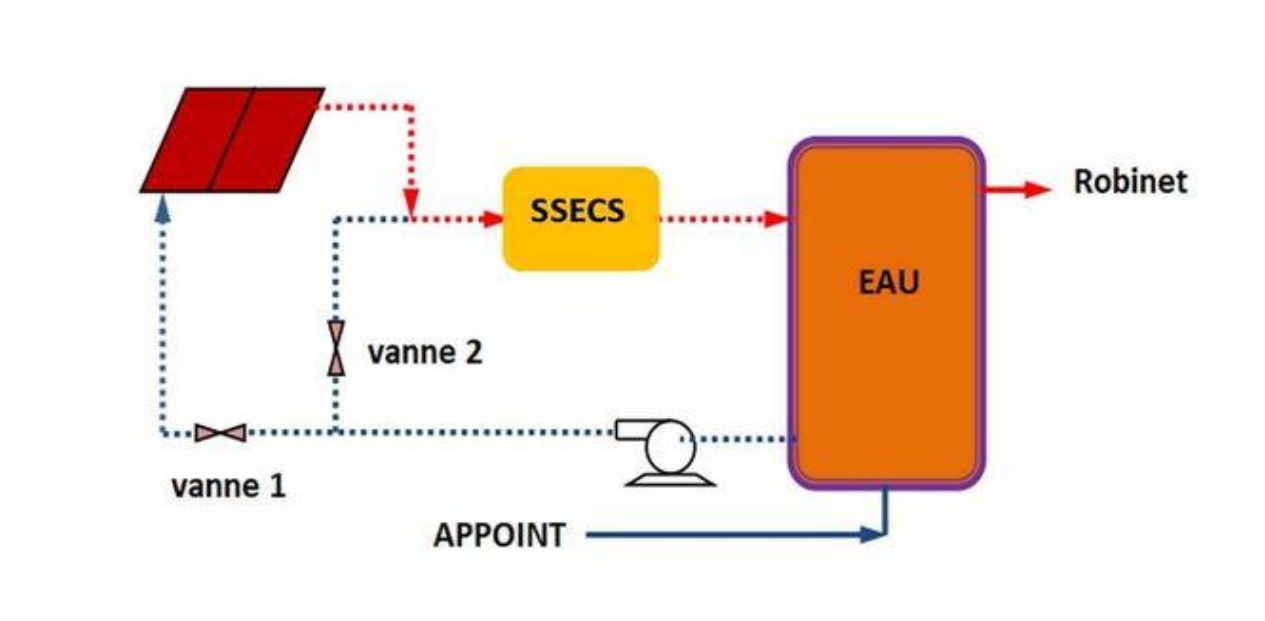


Figure II-2 : Représentation schématique du SSECS utilisé pour le stockage de l'eau chaude

Azzouz Mahammed chamseddine Embarek Noureddine (2021)

L'analyse préalable des déperditions thermiques est une étape fondamentale pour dimensionner adéquatement le système. L'estimation des grandeurs instantanées, avec une fréquence adaptée (journalière, mensuelle, saisonnière), permettra une évaluation complète des performances du système dans différentes conditions.

L'inclusion d'une étude écologique est une démarche pertinente, offrant une perspective durable. N'oubliez pas d'intégrer les paramètres économiques pour évaluer la rentabilité du système solaire thermique par rapport à d'autres solutions de production d'eau chaude sanitaire. [29]

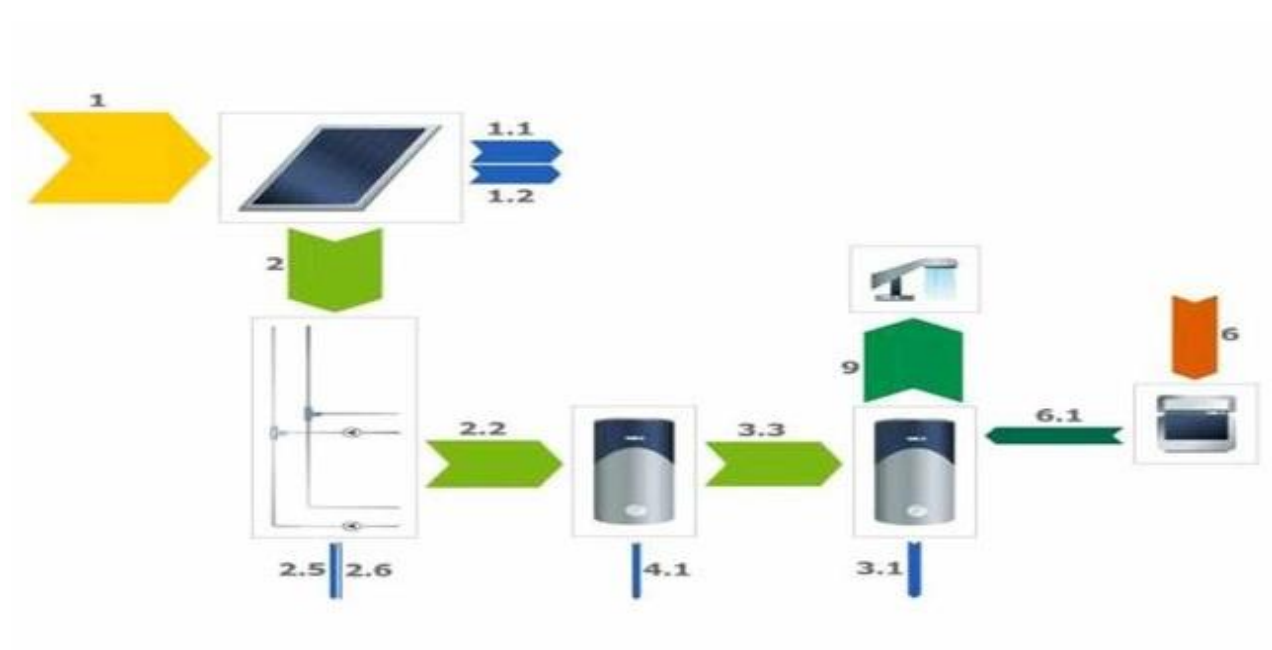


Figure II-3 : Schéma de bilan énergétique

- 1 : Irradiation sur la surface du capteur (surface de réf) :12138kwh.
- 1.1 : Pertes optiques sur les capteurs : 2944kwh.
- 1.2 : Pertes thermique des capteurs : 2432kwh.
- 2 : Energie du champ de capteurs : 6762kwh.
- 2.2 : Energie solaire au ballon de préchauffage : 6283kwh.
- 2.5 : Pertes sur la tuyauterie intérieure : 417kwh.
- 2.6 : Pertes sur la tuyauterie extérieure : 62kwh.
- 3.1 : Pertes ballon : 850kwh.
- 3.3 : Ballon de préchauffage au réservoir : 5820kwh.
- 4.1 : Pertes ballon (s) :461kwh.
- 6 : Energie finale : 3146kwh.
- 6.1 : Energie supplémentaire au réservoir : 2114kwh.
- 9 : ECS-énergie du réservoir : 7085kwh.

Fabrice COULIDIATI (2022) Dans un souci de réduire l'utilisation des énergies fossiles, Ce travail sur le système hybride solaire et biomasse pour la production d'eau chaude sanitaire semble être une approche prometteuse pour réduire la dépendance aux énergies fossiles dans des zones isolées. L'utilisation du logiciel DH-calc_2-02b pour évaluer le besoin en ECS en fonction des habitudes de consommation d'eau et l'intégration du logiciel TRNSYS pour la modélisation démontrent une méthodologie approfondie. L'utilisation de Pyscripter pour interpréter les résultats, ainsi que la comparaison avec d'autres études sur la production ECS solaire, renforce la robustesse de démarche. L'identification de points à explorer, tels que l'étude de rentabilité et une étude expérimentale, montre une conscience des aspects pratiques et économiques du système proposé.

Continuer à explorer ces aspects ajoutera une valeur significative à votre travail, en particulier la rentabilité du modèle et la validation expérimentale des résultats obtenus par TRNSYS. [30]

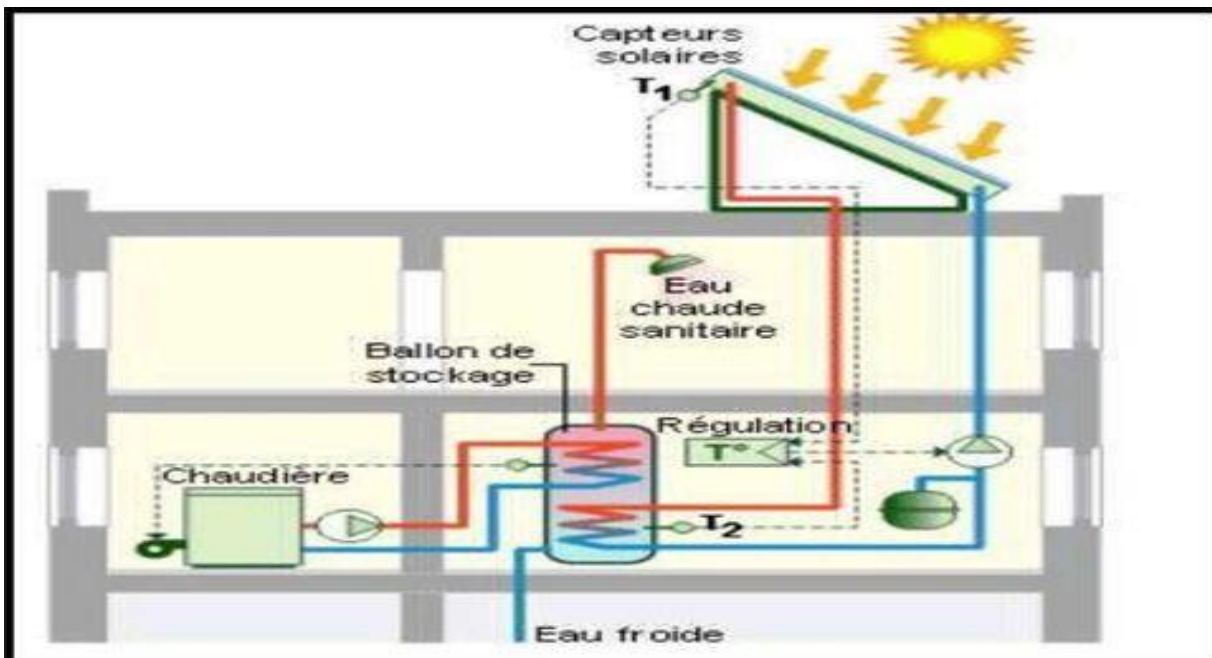


Figure II-4 principe de fonctionnement eau chaude sanitaire tirée énergie plus 2010

BADA MOHAMMAD OUAHID TOUATI AHMED ZINEDDINE (2022)

L'objectif du travail étant d'optimiser une installation solaire d'eau chaude collective à travers l'élaboration d'un modèle avec le logiciel Ansys Fluent, suivi d'une validation par une étude expérimentale de laboratoire, est une approche complète et robuste. La future implantation de cette installation dans une ferme aquacole à Touggourt souligne son application pratique. L'inclusion d'un bilan énergétique global et la comparaison entre les résultats expérimentaux et numériques renforcent la crédibilité de votre modèle. La proposition d'une installation solaire performante sur le plan énergétique, avec un impact environnemental positif par la réduction des émissions de gaz à effet de serre, est une contribution significative. Si vous avez des questions spécifiques ou si vous souhaitez discuter davantage de votre travail, n'hésitez pas à me le faire savoir. [31]

2.3 Conclusion

La recherche bibliographique sur la production d'eau chaude sanitaire par les capteurs solaires indique que plusieurs études mettent en avant l'efficacité des systèmes solaires thermiques pour chauffer l'eau. Des travaux portent sur l'optimisation des capteurs, le stockage de l'énergie thermique, et l'intégration de ces systèmes dans les habitations. Certains auteurs soulignent également l'importance des conditions climatiques et de la conception des installations pour maximiser les performances, permettant ainsi une compréhension approfondie du sujet pour la rédaction d'un mémoire complet.

III Chapitre 03 : Simulation d'une installation ECS sur T-SOL

3.1 Introduction

Ce chapitre aborde le principe de fonctionnement des systèmes de production d'eau chaude sanitaire (ECS) et la méthode de travail utilisée pour notre étude. Une compréhension approfondie de ces aspects est cruciale pour évaluer les performances, l'efficacité et les implications des divers systèmes de production d'ECS.

Nous débuterons par une description détaillée du fonctionnement des principaux systèmes de production d'eau chaude sanitaire, accompagnée des formules pertinentes. Ensuite, nous définirons le logiciel T-Sol et décrirons les étapes de simulation qu'il implique. Enfin, nous présenterons les étapes spécifiques de notre propre simulation.

3.2 Le principe de production d'eau chaude sanitaire

L'énergie solaire est captée ou (absorbé) par des capteurs solaires thermiques, qui convertissent cette énergie en chaleur. Cette chaleur est ensuite utilisée pour chauffer de l'eau, stockée dans un ballon (réservoir) pour une utilisation ultérieure. Les systèmes solaires thermiques sont généralement utilisés pour la production d'eau chaude sanitaire, mais peuvent aussi contribuer au chauffage des bâtiments et à d'autres applications.

3.3 Principe des Capteurs Solaires Thermiques

Les capteurs solaires thermiques sont des dispositifs utilisés pour convertir l'énergie solaire en chaleur. Cette chaleur est ensuite utilisée pour diverses applications, notamment la production d'eau chaude sanitaire (ECS), le chauffage des piscines, et le chauffage des locaux. Les capteurs solaires thermiques peuvent être classés principalement en deux types : les capteurs plans et les capteurs à tubes.

3.3.1 Fonctionnement des Capteurs Solaires Thermiques

Absorption du Rayonnement Solaire :

- Les capteurs sont exposés au rayonnement solaire.
- Une plaque absorbante (généralement en métal avec un revêtement sélectif) capte l'énergie solaire et la convertit en chaleur.

Transfert de Chaleur au Fluide Caloporteur :

- Cette chaleur est transférée à un fluide caloporteur (souvent un mélange d'eau et d'antigel) qui circule à travers des tubes en contact avec la plaque absorbante.

Circulation du Fluide Caloporteur :

- Le fluide caloporteur chauffé circule à travers un échangeur de chaleur où il transfère l'énergie thermique à l'eau sanitaire ou à un autre système de chauffage.

Stockage et Utilisation :

- La chaleur est stockée dans un réservoir bien isolé pour une utilisation ultérieure ou directement utilisée pour le chauffage.

3.3.2 Formule de Base pour le Calcul de la Chaleur Captée

L'énergie thermique captée par les capteurs solaires thermiques peut être calculée à l'aide de la formule suivante :

$$Q=A \cdot G \cdot \eta \quad (\text{III.1})$$

Où :

- Q est la quantité de chaleur captée (en watts, W).
- A est la surface du capteur (en mètres carrés, m²).
- G est l'irradiance solaire incidente sur le capteur (en watts par mètre carré, W/m²).
- η est le rendement du capteur (sans unité, typiquement une valeur entre 0 et 1).

3.3.3 Rendement des Capteurs Solaires Thermiques

Le rendement (η) d'un capteur solaire thermique dépend de plusieurs facteurs, y compris la température de fonctionnement et les pertes thermiques. Le rendement peut être modélisé par :

$$\eta=\eta_0-a_1 \cdot \frac{(T_m-T_a)}{G}-a_2 \cdot\left(\frac{(T_m-T_a)}{G}\right)^2 \quad (\text{III.2})$$

Où :

- η_0 est le rendement optique (rendement de base sans pertes thermiques).
- a_1 est le coefficient de perte thermique linéaire (en W/(m²·°C)).
- a_2 est le coefficient de perte thermique quadratique (en W/(m²·°C²)).
- T_m est la température moyenne du fluide dans le capteur (en °C).
- T_a est la température ambiante (en °C).

La pompe fait circuler le fluide chauffé à travers un circuit fermé vers l'échangeur de chaleur.

3.3.4 Le taux de couverture de panneaux solaires

Ce réfère à la proportion de la surface disponible sur un toit ou une autre structure qui est occupée par des panneaux solaires photovoltaïques. Il est exprimé en pourcentage et permet d'évaluer la densité de l'installation solaire sur une surface donnée.

La formule du taux de couverture des panneaux est la suivante :

$$\text{Taux de couverture des panneaux} = \left(\frac{\text{Surface couverte par les panneaux Solaire}}{\text{Surface totale disponible}} \right) \times 100$$

3.4 Circuit de Fluide Caloporteur

Un mélange d'eau et d'antigel (par exemple, le glycol) qui circule avec une pompe dans le système du transporter la chaleur captée par les capteurs solaires vers l'échangeur de chaleur, où cette chaleur est transférée à l'eau sanitaire. Complétée par les formules associées.

3.4.1 Chaleur Transférée au Fluide Caloporteur (Q_f) :

$$Q_f = \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta T \quad (\text{III.3})$$

Où :

- Q_f est la chaleur transférée (en joules ou kilowatt-heures),
- $\dot{m}$ est le débit massique du fluide caloporteur (en kilogrammes par seconde),
- c_p est la capacité calorifique du fluide (en joules par kilogramme par degré Celsius),

- ΔT est la différence de température du fluide entre l'entrée et la sortie des capteurs (en degrés Celsius).

3.4.2 Débit Massique du Fluide (m) :

$$\dot{m} = \frac{Q_f}{C_p \cdot \Delta T} \quad (\text{III.4})$$

Où :

- $\dot{m}$ est le débit massique du fluide caloporteur (en kilogrammes par seconde),
- Q_f est la chaleur transférée (en joules ou kilowatt-heures),
- C_p est la capacité calorifique du fluide (en joules par kilogramme par degré Celsius),
- ΔT est la différence de température du fluide (en degrés Celsius).

3.5 Réservoir de Stockage d'Eau Chaude

Le réservoir de stockage d'eau chaude est une composante clé des systèmes de production d'eau chaude sanitaire utilisant des capteurs solaires thermiques. Ce réservoir stocke l'eau chauffée par l'énergie solaire jusqu'à ce qu'elle soit nécessaire pour les usages domestiques. Voici une explication détaillée de ses caractéristiques, son fonctionnement, et les formules associées.

- L'eau froide entre par le bas du réservoir.
- Le fluide caloporteur chauffe l'eau à travers un échangeur de chaleur intégré ou un serpentin situé à l'intérieur du réservoir.
- L'eau chaude monte naturellement vers le haut du réservoir en raison de la différence de densité.
- L'eau chaude est prélevée à partir du haut du réservoir lorsqu'elle est nécessaire.

- L'isolation minimise les pertes de chaleur par conduction, convection et rayonnement.
- Un thermostat peut être utilisé pour contrôler la température et éviter la surchauffe.

3.5.1 Formules Associées

3.5.1.1 Calcul de la Capacité du Réservoir (V) :

$$V = \frac{Q}{C_p \cdot \Delta T} \quad (\text{III.5})$$

Où :

- V est le volume du réservoir (en litres),
- Q est la quantité de chaleur nécessaire (en joules ou kilowatt-heures),
- c_p est la capacité calorifique de l'eau (en joules par kilogramme par degré Celsius, généralement $4186 \text{ J}/(\text{kg}^\circ\text{C})$).
- ΔT est la différence de température (en degrés Celsius) entre l'eau chaude stockée et l'eau froide entrante.

3.5.1.2 Calcul des Pertes de Chaleur (Q) :

$$Q_{\text{pertes}} = U \cdot A \cdot \Delta T \cdot t \quad (\text{III.6})$$

Où :

- Q_{pertes} est la quantité de chaleur perdue (en joules ou kilowatt-heures),
- U est le coefficient global de transfert de chaleur du réservoir (en watts par mètre carré par degré Celsius),
- A est la surface extérieure du réservoir (en mètres carrés),

- ΔT est la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur du réservoir (en degrés Celsius),
- t est le temps pendant lequel la perte de chaleur est calculée (en heures).

3.5.1.3 Efficacité du Réservoir ($\eta_{\text{réservoir}}$) :

$$\eta_{\text{réservoir}} = \frac{Q_{\text{utilisable}}}{Q_{\text{stocké}}} \quad (\text{III.7})$$

Où :

- $\eta_{\text{réservoir}}$ est l'efficacité du réservoir,
- $Q_{\text{utilisable}}$ est la chaleur utilisable pour les besoins en eau chaude (en joules ou kilowatt-heures),
- $Q_{\text{stocké}}$ est la chaleur initialement stockée dans le réservoir (en joules ou kilowatt-heures).

3.6 Principe de l'échangeur de chaleur

L'échangeur de chaleur est un élément crucial dans les systèmes de production d'eau chaude sanitaire par capteurs solaires thermiques, permettant un transfert efficace de la chaleur tout en garantissant la sécurité et la fiabilité du système. Dans un échangeur de chaleur, le transfert de chaleur entre le fluide caloporteur et l'eau sanitaire se fait sans que les deux fluides ne se mélangent. Ce processus se déroule grâce à un dispositif qui permet un échange thermique efficace tout en maintenant la séparation physique entre les deux fluides.

La formule générale qui régit le transfert de chaleur à travers un échangeur de chaleur est l'équation fondamentale de transfert de chaleur, souvent appelée loi de Fourier, qui s'exprime ainsi :

$$Q=U \cdot A \cdot \Delta T \quad (III.8)$$

où :

- Q est la quantité de chaleur transférée (en watts, W),
- U est le coefficient de transfert de chaleur global (en watts par mètre carré par kelvin, $W/(m^2 \cdot K)$),
- A est la surface d'échange thermique (en mètres carrés, m^2),
- ΔT est la différence de température entre les deux fluides (en kelvins, K).

3.7 Retour du Fluide :

Le retour du fluide caloporteur aux capteurs solaires pour être réchauffé est une étape cruciale dans le processus de production d'eau chaude sanitaire par capteurs solaires thermiques. Cette étape permet de maintenir un cycle continu de chauffage et de fournir une source d'eau chaude constante. Pour comprendre cette étape et l'optimiser, examinons-la en détail avec les formules associées.

3.7.1 Calcul de l'Énergie Thermique Perdue par le Fluide Caloporteur

Lorsque le fluide caloporteur transporte de la chaleur du capteur solaire vers l'échangeur de chaleur, il subit des pertes thermiques. Ces pertes peuvent être estimées par la formule :

$$Q_{\text{pertes}}=U_{\text{pertes}} \cdot A \cdot \Delta T \cdot t \quad (III.9)$$

Où :

- Q_{pertes} est l'énergie thermique perdue par le fluide caloporteur (en joules, J),
- U_{pertes} est le coefficient de pertes thermiques du système (en watts par mètre carré par kelvin, $W/(m^2 \cdot K)$),
- A est la surface d'échange thermique (en mètres carrés, m^2),
- ΔT est la différence de température entre le fluide caloporteur et l'environnement (en kelvins, K),
- t est la durée pendant laquelle les pertes thermiques se produisent (en secondes, s).

3.7.2 Calcul de l'Énergie Thermique Absorbée par le Fluide Caloporteur

L'énergie thermique absorbée par le fluide caloporteur lorsqu'il est exposé au rayonnement solaire peut être calculée à l'aide de la formule de base de transfert de chaleur, comme décrit précédemment :

$$Q_{\text{absorbée}} = U_{\text{capteur}} \cdot A \cdot \Delta T \cdot t \quad (\text{III.10})$$

Où :

- U_{capteur} est le coefficient de transfert de chaleur global du capteur solaire.

3.8 Logiciel T-SOL :

3.8.1 Définition

T-SOL est un logiciel de simulation développé par Valentin Software, destiné à la conception, la simulation et l'optimisation de systèmes solaires thermiques. Il permet aux ingénieurs, architectes et planificateurs de créer des systèmes solaires thermiques efficaces pour la production d'eau chaude sanitaire, le chauffage et les applications combinées.

3.8.2 Fonctionnalités Principales

3.8.2.1 Conception de Systèmes Solaires :

- Modélisation précise des systèmes solaires thermiques, incluant les capteurs solaires, les réservoirs de stockage et les systèmes de distribution.
- Bibliothèque étendue de composants solaires avec des caractéristiques techniques détaillées.
- Paramétrage flexible pour répondre aux besoins spécifiques des projets.

3.8.2.2 Simulation Dynamique :

- Calculs horaires et simulations dynamiques basés sur des données météorologiques précises pour évaluer les performances du système tout au long de l'année.
- Analyse des gains solaires, des besoins énergétiques et des pertes thermiques.

3.8.2.3 Analyse des Performances :

- Calcul du taux de couverture solaire, de l'efficacité du système et de l'économie d'énergie réalisée.

- Évaluation financière incluant les coûts initiaux, les économies réalisées et les temps de retour sur investissement.

3.8.2.4 Rapports et Documentation :

- Génération de rapports détaillés et personnalisables pour la présentation des résultats de simulation.
- Graphiques et tableaux illustrant les performances du système et les économies d'énergie.

3.8.3 Les étapes de simulation d'un projet dans T-SOL

Afin de créer un projet, nous devons suivre les étapes suivantes :

On appuie sur le bouton de Sélectionnez l'installation  Et Ensuite, nous choisissons Le schéma qui nous convient

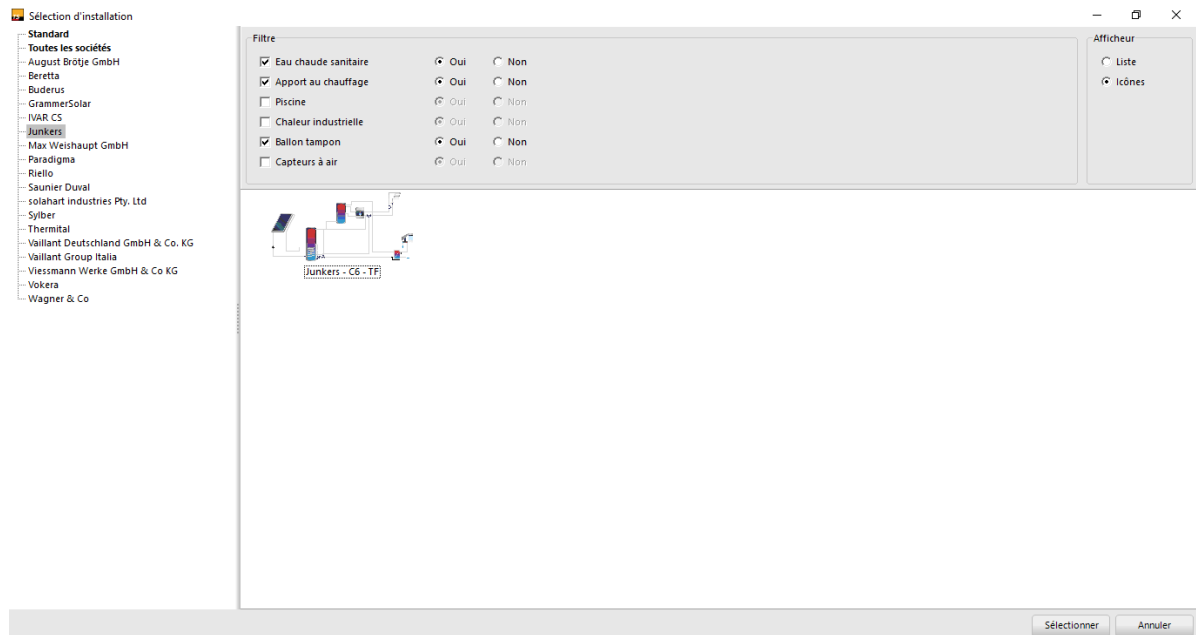


Figure III-1 sélection de l'installation

Après cela, nous appuyons sur le bouton  pour définir l'installation que nous désirons effectuons

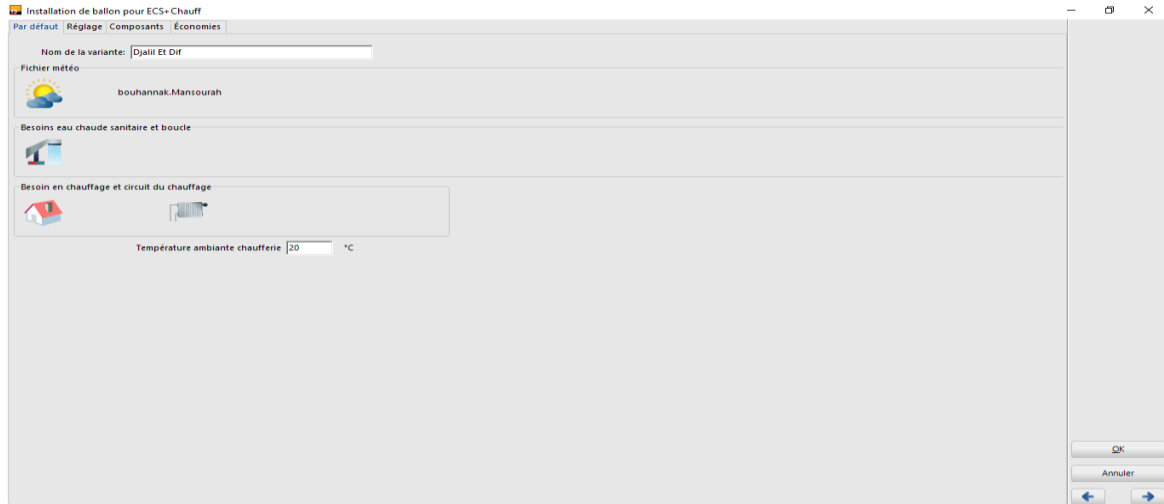


Figure III-2 définir l'installation

Ensuite nous modifions le nom de la variante ainsi que les paramètres de la météo, les besoins corrects en eau chaude sanitaire, la boucle, les besoins en chauffage et le circuit de chauffage.

A partir de l'assistant de conception  nous pouvons sélectionner le système thermique

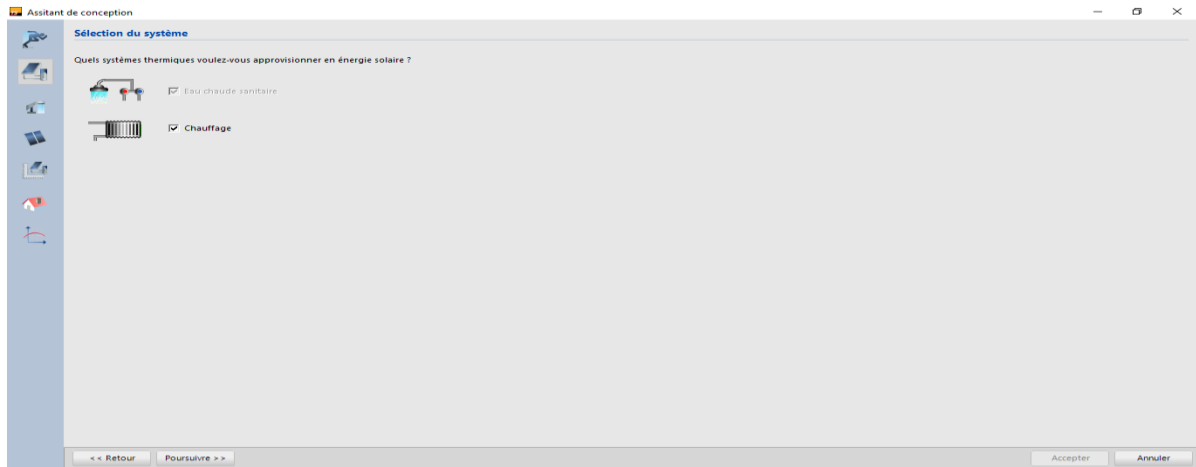


Figure III-3 l'assistant de conception

Les paramètres de la consommation de l'eau chaude sanitaire et du chauffage sont définis dans l'onglet comme il est présenté dans la figure suivante

The image shows the 'Définition des consommateurs' tab of the 'Assistant de conception' window. It has two sub-tabs: 'Eau chaude sanitaire' (selected) and 'Chauffage'. The 'Eau chaude sanitaire' section contains several input fields: a checkbox for 'Le besoin en ECS est-il connu ?', a text box for 'Combien de personnes doivent être approvisionnées ?' with the value '6' and the unit 'Personnes', a checkbox for 'Y at-il un boucle d'ECS ?', a text box for 'Quelle est la température de consigne de l'eau chaude sanitaire ?' with the value '50' and the unit '°C', and a section for 'Quelle est l'histoire de la température de l'eau' with two rows: 'Février' with a value of '8' °C and 'Août' with a value of '12' °C. The 'Chauffage' tab is currently inactive. At the bottom, there are four buttons: '<< Retour', 'Poursuivre >>', 'Accepter', and 'Annuler'.

Figure III-4 Définition des consommateurs

La définition du champ du capture, l'inclinaison, la direction géographique du capture, et le choix de la longueur simple de la tuyauterie s'effectue comme il est présenté dans la figure suivante :

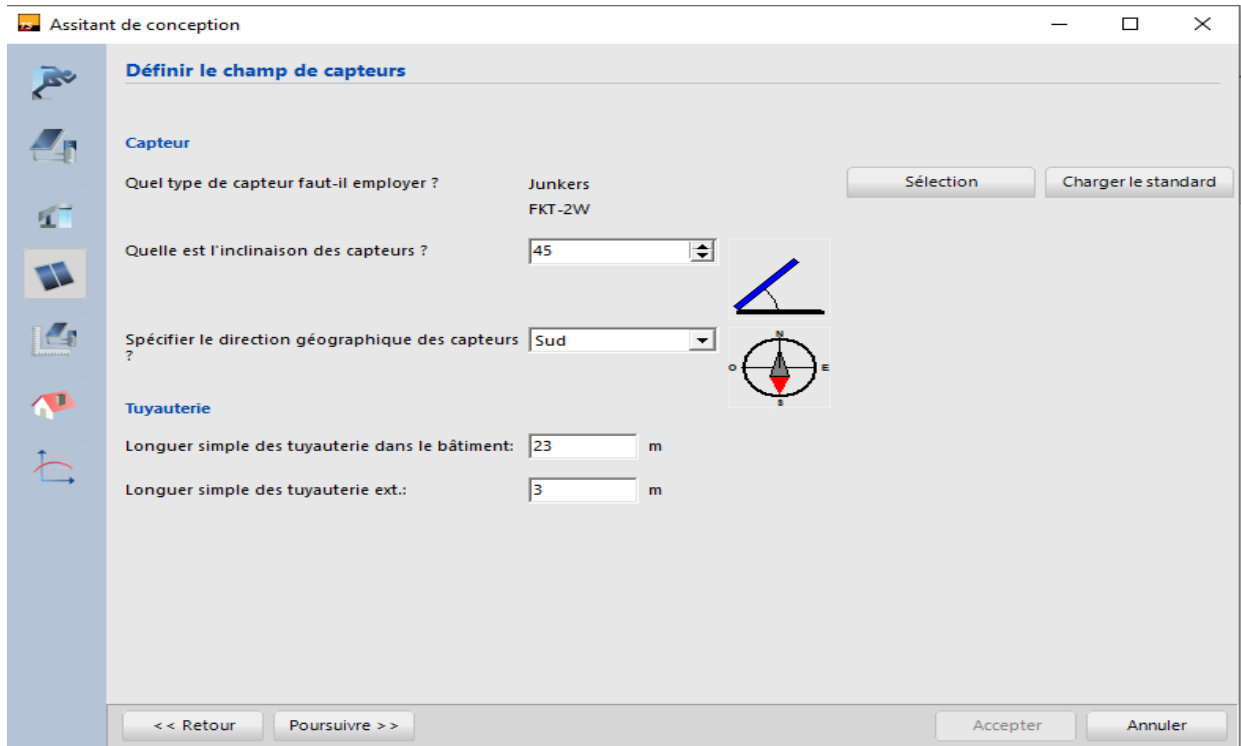


Figure III-5 Définir le champ de capteurs

La figure suivante présente le choix des sociétés, la contenance du ballon et le type de produit du chauffage d'appoint.

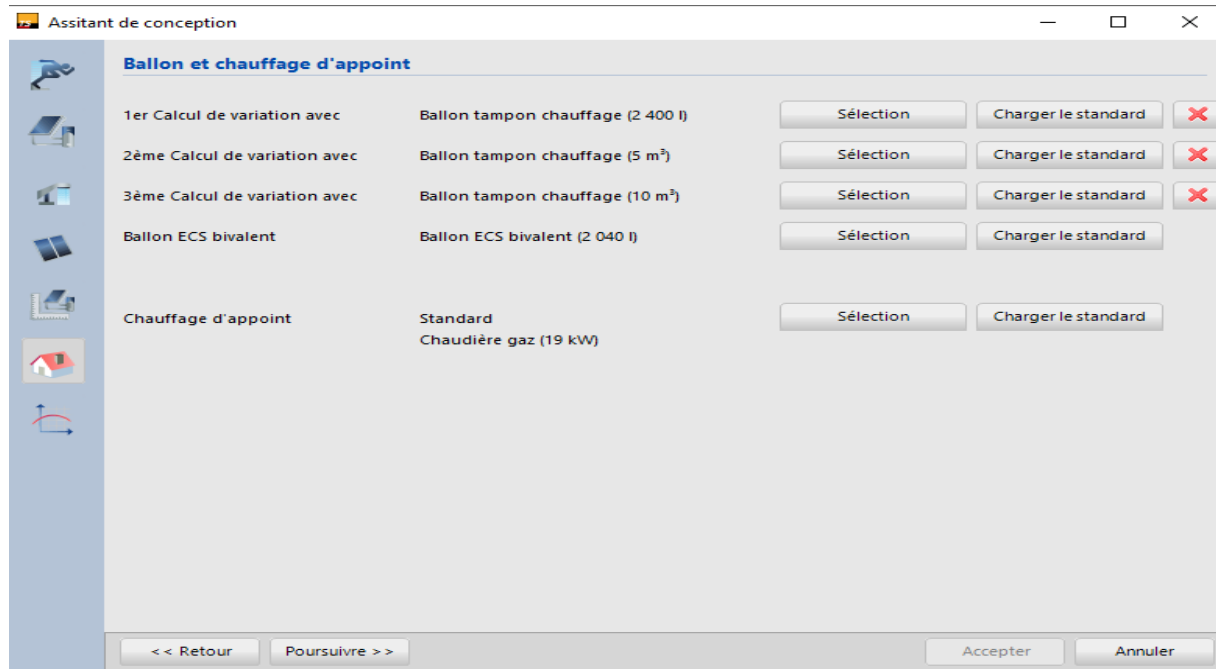


Figure III-6 Assistant de conception

Après la définition de tous les paramètres de la simulation il faut l'exécuter en

appuyant sur le bouton .

A la fin de la simulation le T-SOL nous permet d'accéder au rapport du projet et diagrammes comme il est figuré dans l'image suivante.

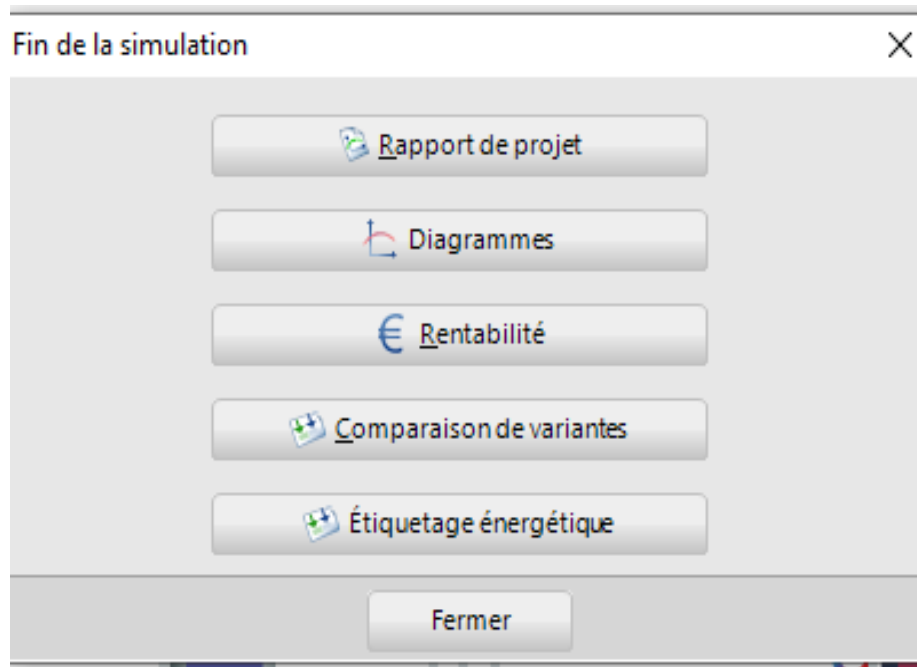


Figure III-7 Fin de simulation

3.9 L'étude d'un projet du maison pour l'ECS et Chaudière :

3.9.1 Les Données météorologiques de la maison

- Site: Tlemcen
- Données météorologiques: bouhannak.Mansourah
- Rayonnement annuel global : 1947,769 kWh/m²
- Latitude : 34,88 °
- Longitude : 1,36 °

3.9.2 Eau chaude sanitaire

- Consommation journalière moyenne : 0,24 m³
- Température souhaitée : 50 °C
- Allure de charge : Maison collective
- Température eau froide
- Février : 15 °C
- Août : 19,5 °C
- Boucle ECS : oui

3.9.3 Chauffage

- Besoin référence en flux de chaleur du bâtiment : 40 kW
- Température externe standard : -0,76 °C
- Températures de référence HT : 60 °C/20 °C
- Températures de référence BT : 40 °C/15 °C

3.9.4 Installation

- Surface de référence : 4,5 m²
- Rendement du système : 4 307,23 kWh
- Économie annuelle de combustible : 782,9 m³ Gaz méthane
- Paramètre économique Longévité : 20 Années

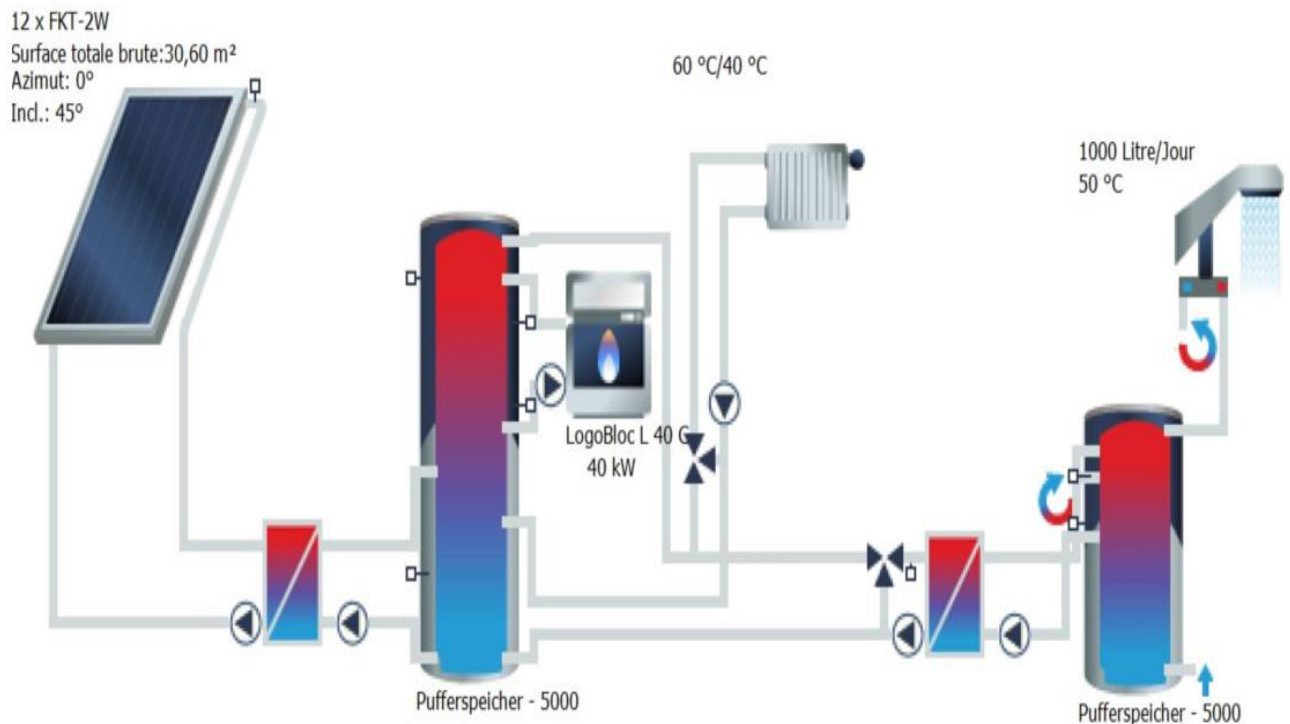


Figure III-8 Installation ECS avec Ballon Chauffage Projet d'une maison

La figure représente un schéma d'un système de chauffage solaire combiné avec une chaudière à gaz. Voici un résumé des composants et de leur fonctionnement :

1. Panneaux solaires Junkers (12 x FKC-2W) : Ils captent l'énergie solaire pour chauffer un fluide caloporteur. Ces panneaux ont une surface totale brute de 30,6 m², avec une inclinaison de 45° et Orientation 180 ° et un azimut de 0°.

2. Ballon de stockage solaire Thermital (Pufferspeicher - 5000) : Il a un volume de 5000 litres. Le fluide chauffé par les panneaux solaires circule à travers un échangeur de chaleur pour transférer l'énergie au ballon de stockage.

3. Chaudière à gaz August Brötje GmbH (LogoBloc L,40C une puissance de 40 kW): Elle sert de source de chauffage d'appoint lorsque l'énergie solaire est insuffisante. La chaudière peut chauffer directement le ballon de stockage ou fournir de l'eau chaude sanitaire.

4. Ballon tampon Thermital (Pufferspeicher - 5000) : Il a un volume de 5000 litres.. Ce ballon stocke l'eau chaude pour les besoins en chauffage et en eau chaude sanitaire.

5. Circulateurs et vannes : Ils assurent la circulation du fluide entre les différents composants et régulent les flux selon les besoins en chauffage ou en eau chaude sanitaire.

6. Échangeur de chaleur pour eau sanitaire : Situé en haut à droite du schéma, cet échangeur fournit de l'eau chaude sanitaire à une température de 50°C avec un débit de 240 litres par jour.

Le système fonctionne de manière à maximiser l'utilisation de l'énergie solaire pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire, en utilisant la chaudière à gaz comme source d'appoint. Le fluide caloporteur circule à travers les panneaux solaires, transfère la chaleur au ballon de stockage, et les circulateurs et vannes régulent les flux pour assurer une efficacité optimale.

3.10 Conclusion

la simulation de la production d'eau chaude sanitaire par capteurs solaires révèle que cette technologie est une solution durable, efficace et économique pour répondre aux besoins en ECS. Elle offre des avantages significatifs en termes de l'impact environnemental, tout en garantissant une fourniture fiable d'eau chaude. Les recommandations issues de la simulation permettent d'optimiser la conception, l'installation et l'entretien des systèmes solaires thermiques pour une performance maximale.

IV Chapitre 04 : Résultats et Interprétations

4.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons les résultats annuels de simulation liés à l'utilisation de l'énergie solaire pour la production d'eau chaude sanitaire et le chauffage. L'objectif principal est d'évaluer l'efficacité et les contributions des systèmes solaires dans la satisfaction des besoins énergétiques domestiques, en mettant l'accent sur les économies potentielles de gaz méthane et l'efficacité globale du système.

4.2 Les résultats et l'interprétation

Les calculs ont été réalisés avec le programme de simulation d'installation solaire thermique T*SOL 2021. Les résultats ont été déterminés par un modèle de calcul mathématique avec un domaine temporel de pas de temps variables de 6 minutes au maximum. Les productions réelles peuvent s'en écarter en raison des fluctuations du temps, de la consommation d'eau et divers autres facteurs.

4.2.1 Énergie délivrée par le circuit de capteurs : 21 604,95 kWh 742,13 kWh/m²

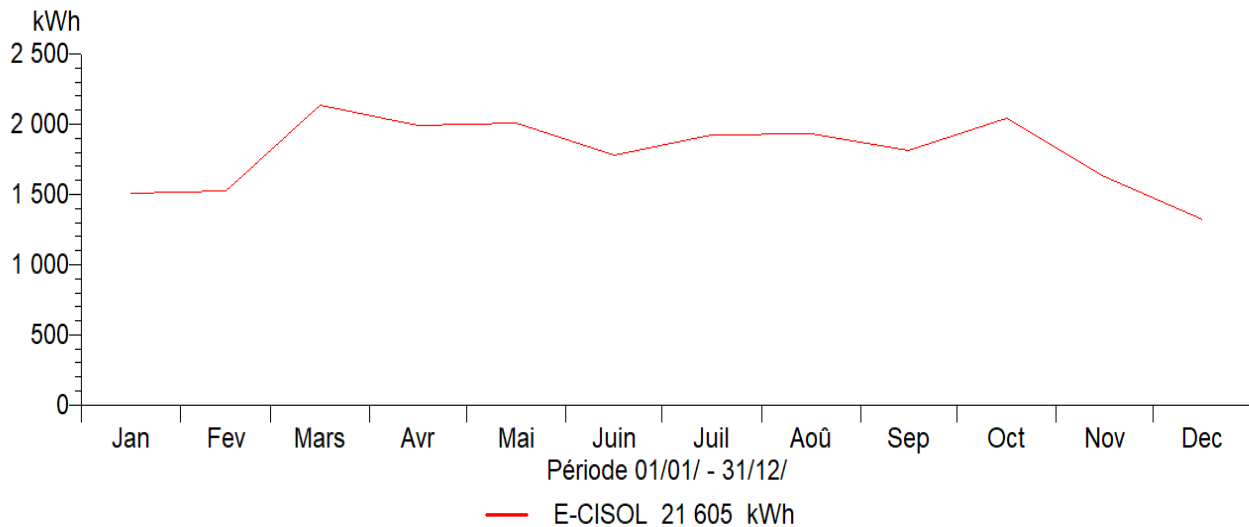


Figure IV-1 Énergie délivrée par le circuit de capteurs

Le graphique présente la consommation énergétique mensuelle en kWh sur une année complète, avec une consommation annuelle totale de 21605 kW. Voici une interprétation des résultats :

La consommation énergétique est relativement stable tout au long de l'année, avec quelques variations mineures.

-Hiver (janvier, février, décembre) : Une consommation initialement faible en janvier, suivie d'une augmentation en février, puis une diminution en décembre.

- Printemps (mars, avril, mai) : Une consommation relativement stable autour de 2000 kWh par mois.

- Été (juin, juillet, août) : Une consommation stable et constante, suggérant une utilisation continue des équipements.

- Automne (septembre, octobre, novembre) : Un pic de consommation en octobre, suivi d'une diminution en novembre.

Alor La consommation énergétique pour Énergie délivrée par le circuit de capteurs est relativement stable tout au long de l'année, avec quelques pics en février et octobre. Cela pourrait indiquer que l'utilisation des équipements ou systèmes est constante, avec de légères augmentations pendant certaines périodes spécifiques. Ces résultats peuvent aider à identifier les périodes où des mesures d'économie d'énergie peuvent être mises en place pour optimiser la consommation.

4.2.2 Énergie fournie pour le chauffage eau chaude sanitaire : 13827,43 kWh

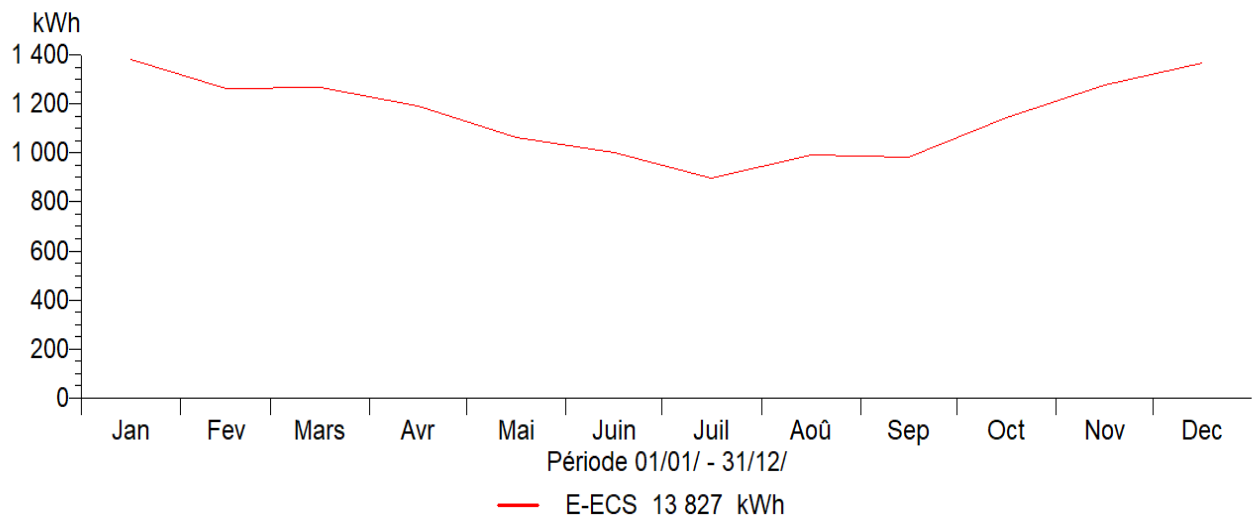


Figure IV-2 Énergie fournie pour le chauffage eau chaude sanitaire

Le graphique montre la consommation d'énergie (en kWh) d'un système ou d'un équipement identifié comme "E-ECS" sur une période d'un an, de janvier à décembre. La courbe montre une tendance saisonnière avec une consommation plus élevée pendant les mois d'été (juin à août) et les mois d'hiver (décembre et janvier), probablement en raison des besoins de climatisation et de chauffage respectivement. Le total de la consommation d'énergie pour la période du 01/01 au 31/12 est indiqué comme étant de 13 827 kWh. Ce type de graphique permet de visualiser les variations de la consommation d'énergie au fil des mois et d'identifier les périodes de pointe et de creux de demande.

4.2.3 Énergie système solaire : 19 354,34 kWh

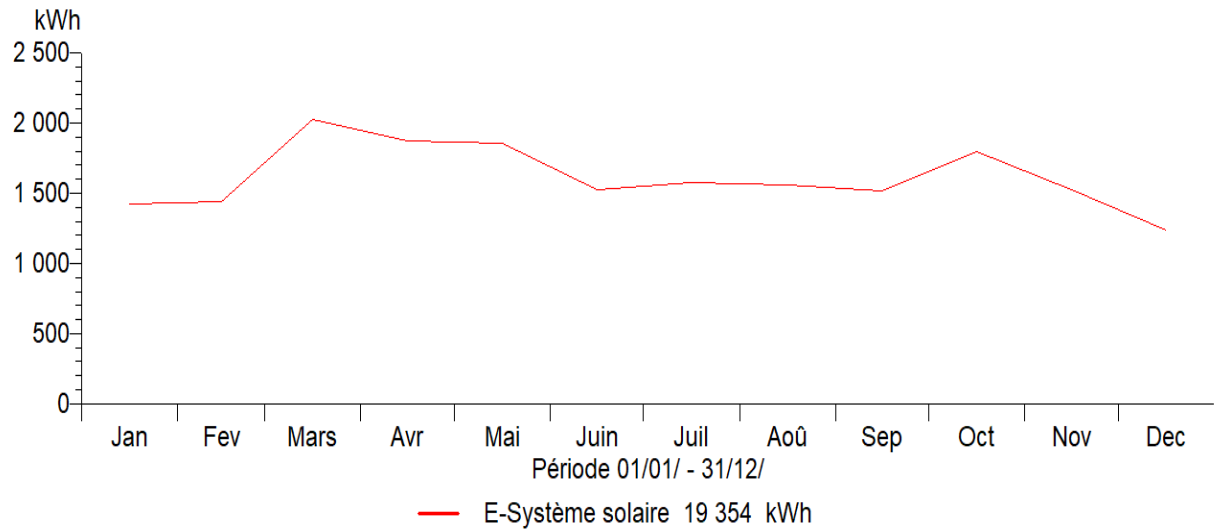


Figure IV-3 Énergie système solaire

Le graphique montre la production d'énergie d'un système solaire (E-Système solaire) sur une période d'un an, de janvier à décembre. L'axe vertical représente la quantité d'électricité produite en kilowattheures (kWh). La production totale annuelle est de 19 354 kWh.

Le graphique montre une tendance saisonnière typique pour un système solaire, avec une production plus élevée pendant les mois d'été (mai à août) lorsque l'ensoleillement est plus important, et une production plus faible pendant les mois d'hiver (novembre à février) en raison de la baisse de l'ensoleillement. La production totale d'électricité par le système solaire pour l'année est indiquée comme étant de 13354 kWh.

Le graphique montre que la production d'énergie solaire est maximale au printemps et à l'automne, avec des baisses notables en été et en hiver, reflétant l'impact des variations saisonnières et météorologiques sur la production d'énergie solaire.

4.2.4 Apport d'énergie pour l'appoint : 16805,6 kWh

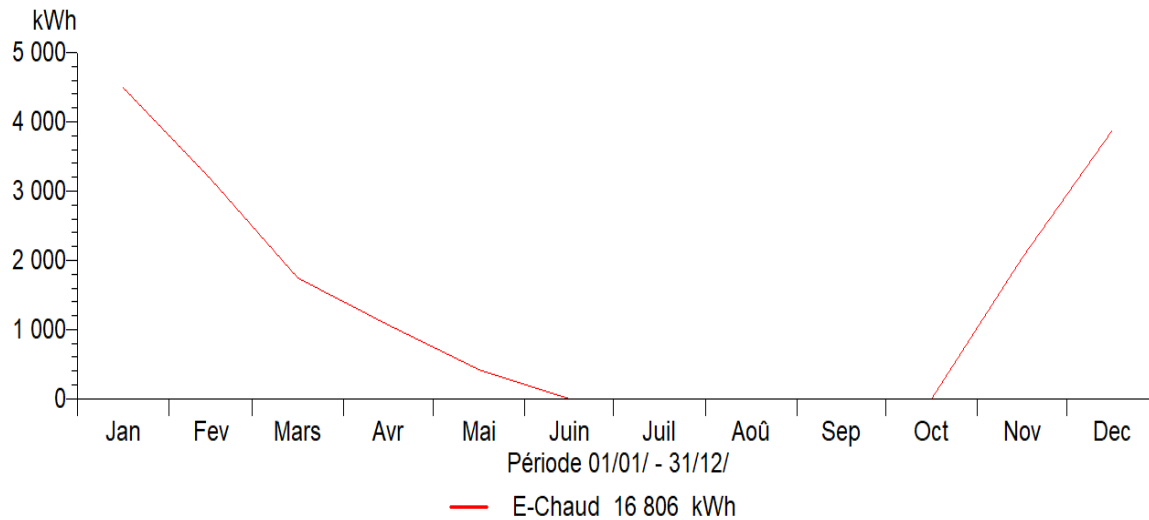


Figure IV-4 Apport d'énergie pour l'appoint

Le graphique présente en courbes illustrant la consommation d'énergie pour le chauffage sur une période d'un an, de janvier à décembre. L'axe vertical représente la quantité d'énergie consommée en kilowattheures (kWh).

La courbe montre une consommation élevée pendant les mois d'hiver (décembre à février) en raison des basses températures nécessitant plus de chauffage. La consommation diminue progressivement pendant les mois de printemps et d'été, puis augmente à nouveau à l'automne et en début d'hiver.

La consommation totale d'énergie pour le chauffage pour la période du 01/01 au 31/12 est indiquée comme étant de 16806 kWh.

Le graphique permet de visualiser les variations saisonnières de la demande énergétique pour le chauffage et d'évaluer les besoins en fonction des conditions météorologiques et des températures extérieures. Ces informations sont essentielles pour gérer et optimiser les systèmes de chauffage, ainsi que pour planifier la consommation énergétique à long terme.

4.2.5 Économie Gaz naturel H : 2468 m³

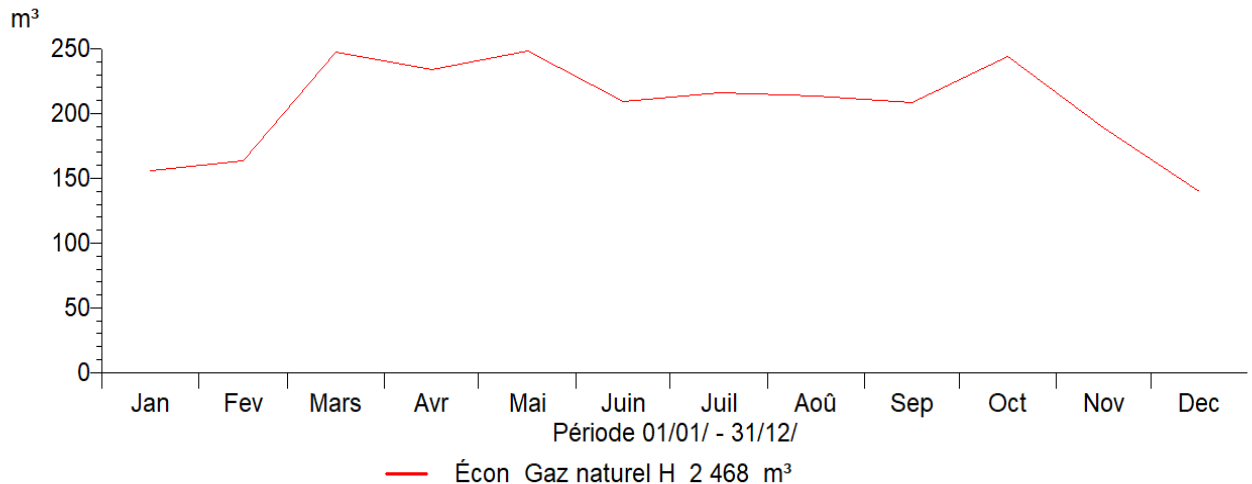


Figure IV-5 Économie Gaz naturel H

On remarque à travers la courbe graphique de la figure qu'une consommation plus élevée pendant les mois d'hiver (décembre à février) en raison des besoins de chauffage accrus pendant cette période. La consommation diminue progressivement pendant les mois de printemps et d'été, lorsque les températures sont plus clémentes et que les besoins de chauffage sont réduits.

La consommation totale de gaz naturel pour la période de l'année est indiquée comme étant de 2 468 m³.

Ces informations sont utiles pour la gestion et l'optimisation des systèmes de chauffage fonctionnant au gaz naturel, ainsi que pour la planification de l'approvisionnement en gaz.

4.2.6 Émission de CO₂ évitée : 5 219,89 kg

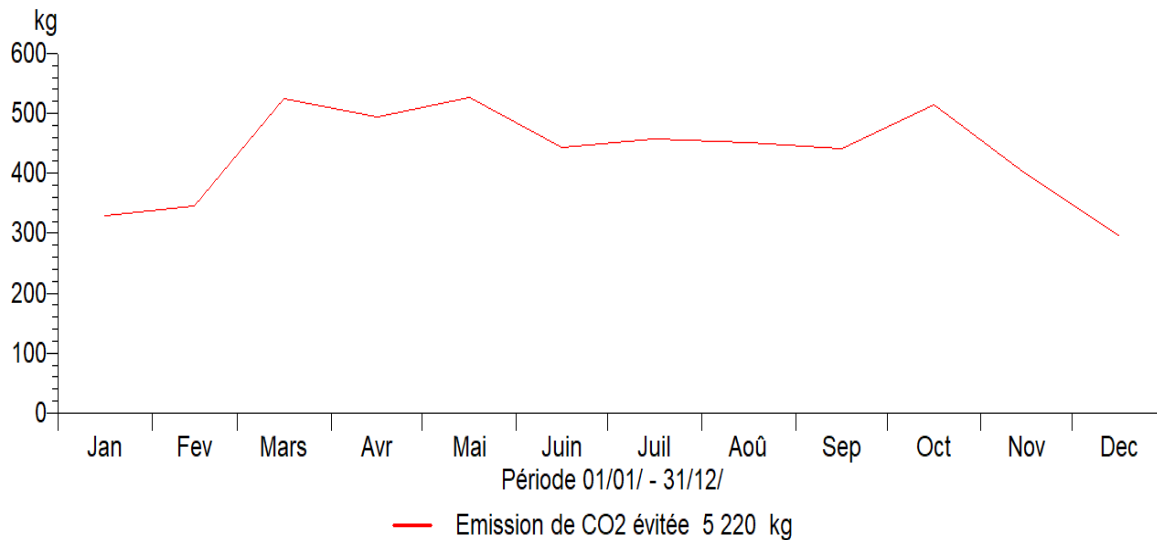


Figure IV-6 Émission de CO₂ évitée

Cette figure présente un graphique en courbes illustrant les émissions de dioxyde de carbone (CO₂) sur une période d'un an. L'axe vertical représente la quantité de CO₂ émise, exprimée en kilogrammes (kg).

On remarque le niveau plus élevé pendant les mois d'hiver (décembre à février) et les mois d'été (juin à août). Cette tendance est probablement liée à une consommation accrue d'énergie pour le chauffage en hiver et la climatisation en été.

Ces informations sont précieuses pour suivre les progrès dans la réduction des émissions de gaz à effet de serre et pour élaborer des stratégies d'atténuation et d'adaptation au changement climatique.

4.2.7 Énergie économisée relative d'énergie supplémentaire (DIN EN 12977) : 47,6 %

Ce résultat indique que notre installation solaire thermique a permis d'économiser environ 47,6 % de l'énergie supplémentaire qui aurait été nécessaire sans cette installation. En d'autres termes, grâce à votre installation solaire, nous utilisons près de la moitié moins d'énergie supplémentaire pour chauffer notre eau ou notre espace par rapport à ce que nous allons utiliser sans elle. C'est une belle économie d'énergie qui peut avoir un impact positif sur nos factures d'énergie et sur l'environnement.

4.2.7.1 DIN EN 12977 :

La norme DIN EN 12977 fait partie d'une série de normes européennes (EN) relatives aux systèmes solaires thermiques et aux composants de ces systèmes. Plus précisément, elle couvre les systèmes solaires thermiques personnalisés et les réservoirs de stockage associés.

4.2.8 Taux de couverture total : 53,5 %

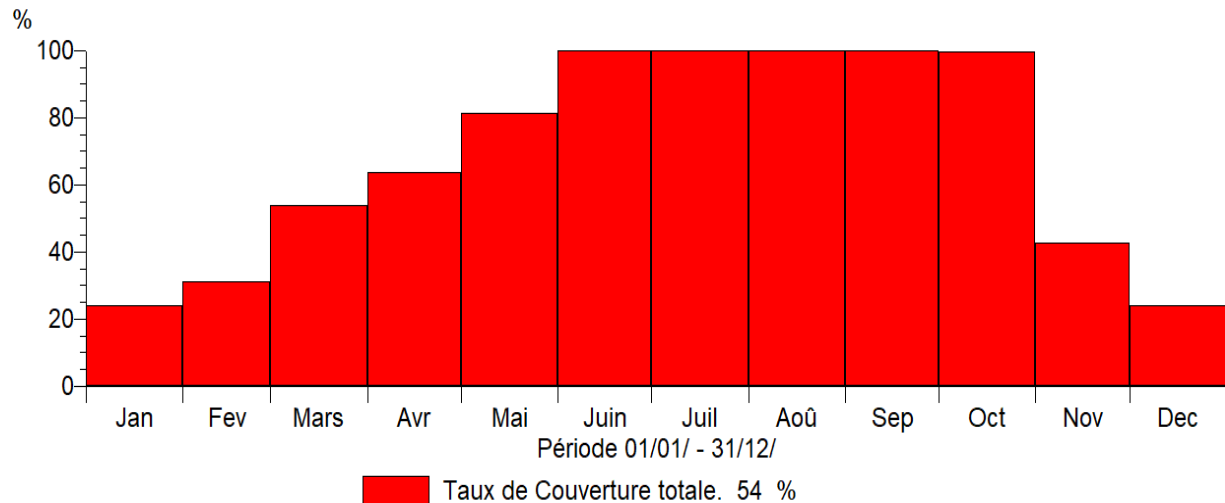


Figure IV-7 Taux de couverture total

Le graphique montre le taux de couverture mensuel d'un système solaire thermique sur une année. Voici une interprétation détaillée des résultats :

- Hiver (Décembre, Janvier, Février) :
 - Le taux de couverture est bas en hiver. Cela s'explique par une irradiation solaire plus faible, réduisant la capacité du système à couvrir les besoins énergétiques.
- Printemps (Mars, Avril, Mai) :
 - Le taux de couverture augmente au printemps. Cette période bénéficie d'une irradiation solaire croissante et d'une demande énergétique modérée.
- Été (Juin, Juillet, Août) :
 - Le taux de couverture est le plus élevé en été. L'irradiation solaire est à son maximum, permettant au système de couvrir presque tous les besoins énergétiques.

- Automne (Septembre, Octobre, Novembre) :
- Le taux de couverture diminue en automne. La diminution de l'irradiation solaire et l'augmentation de la demande énergétique pour le chauffage expliquent cette baisse.

Alors le système solaire thermique est bien dimensionné pour maximiser la couverture énergétique pendant les périodes de forte irradiation solaire, tout en apportant une contribution substantielle tout au long de l'année. Cependant, une complémentarité avec d'autres sources d'énergie est nécessaire pour assurer une couverture complète des besoins énergétiques, surtout en hiver.

4.2.9 Rendement du système

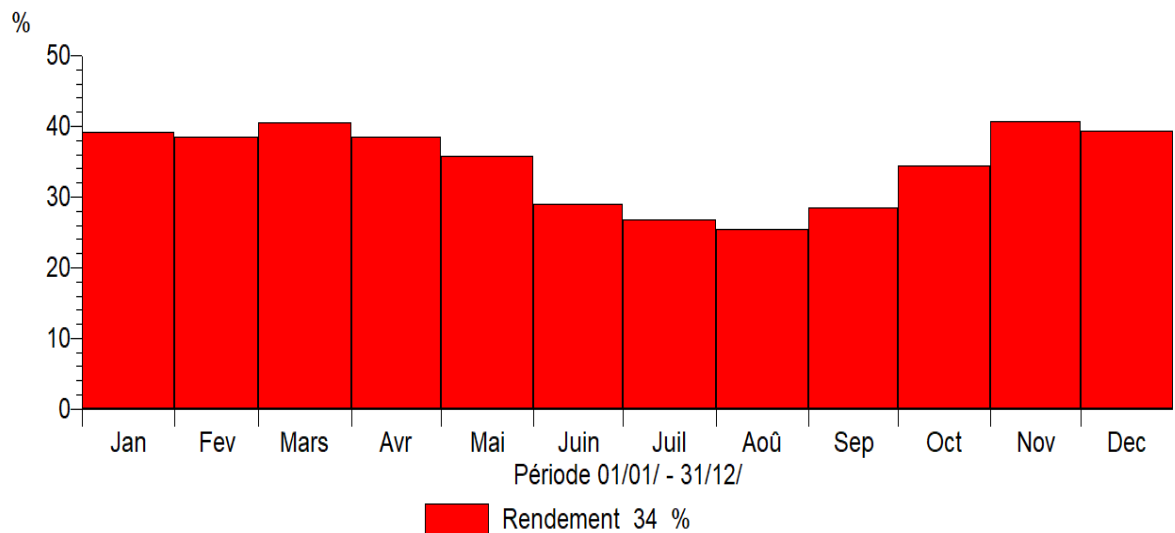


Figure IV-8 Rendement du système

La figure présente le dimensionnement d'un rendement du système par année, avec une moyenne annuelle de 34 %.

- Le rendement du système est le plus élevé pendant les périodes de transition (printemps et automne) où la demande énergétique et l'irradiation solaire sont bien équilibrées.
- Les rendements en hiver sont étonnamment élevés, ce qui suggère une bonne performance du système même avec une irradiation plus faible, probablement en raison de la forte demande en chauffage.
- Le rendement plus faible en été indiqué peut-être des limitations du système à gérer l'énergie excédentaire ou une moindre demande énergétique.

Alors le système solaire thermique présente un bon rendement global, avec des performances optimales en automne et au printemps, et reste efficace même en hiver. Ces résultats montrent que le système est bien dimensionné et performant, bien que des optimisations pourraient être envisagées pour mieux gérer les périodes estivales.

4.2.10 La Température maximale journalière dans le capteur

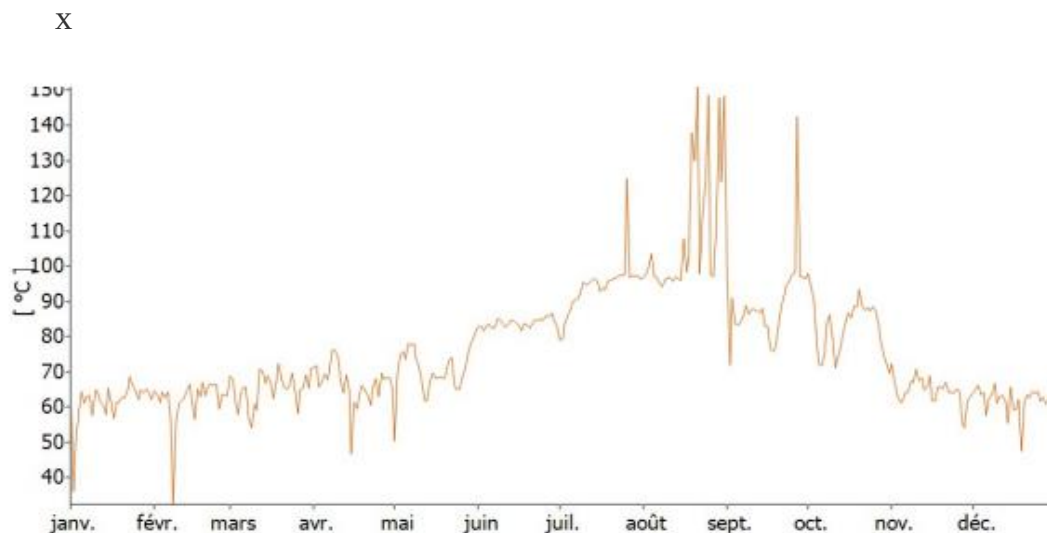


Figure IV-9 La Température maximale journalière dans le capteur

Le graphe ci-dessus montre la température maximale journalière dans le capteur en degrés Celsius sur une année. Les températures modérées au début et à la fin de l'année, et une augmentation notable entre juin et septembre. Pendant les mois d'été, les températures maximales journalières dépassent 130°C, indiquant une forte absorption de chaleur par le capteur durant cette période. En contraire, pendant les autres mois, les températures sont plus basses, ce qui pourrait être dû à une moindre intensité solaire ou à des conditions climatiques différentes. Ces observations mettent en évidence l'impact des variations saisonnières et climatiques sur la performance du capteur.

4.2.11 Température d'eau froide et eau chaude sanitaire

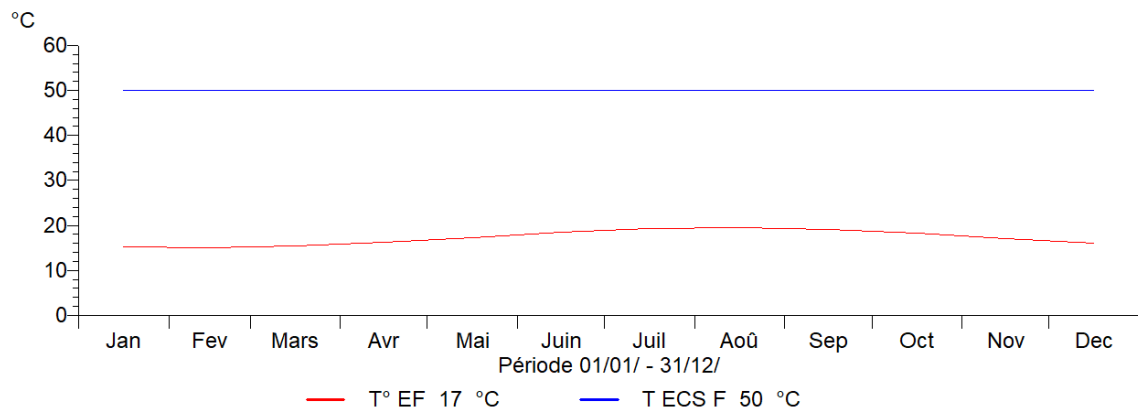


Figure IV-10 Température d'eau froide et eau chaude sanitaire

Le graphique présente deux courbes de température sur une période d'un an (de janvier à décembre). Voici les détails et l'interprétation :

Température de l'eau froide courbe rouge (T° EF): La température de l'eau froide varie légèrement au cours de l'année, augmentant en été et diminuant en hiver. Cela correspond aux variations saisonnières typiques où l'eau des sources naturelles ou des systèmes d'approvisionnement est plus chaude en été et plus froide en hiver.

Température de l'eau chaude sanitaire courbe bleu (T ECS F): La température de l'eau chaude sanitaire est maintenue à un niveau constant de 50 °C. Cela suggère qu'un système de chauffage de l'eau est utilisé pour assurer une température stable, indépendamment des variations saisonnières de la température de l'eau froide.

4.2.12 Part de l'énergie solaire par rapport à la consommation d'énergie

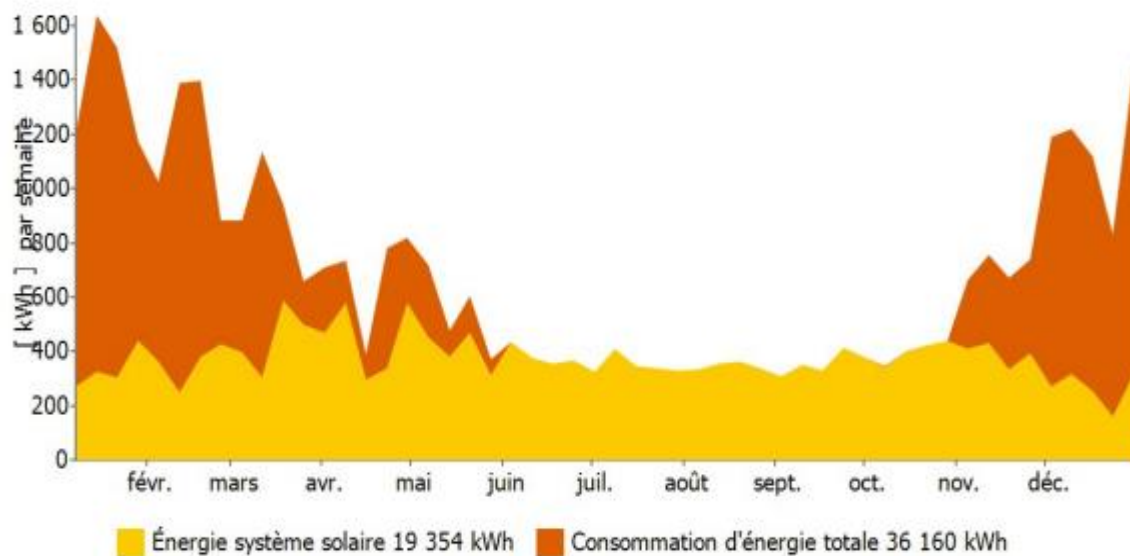


Figure IV-11 Part de l'énergie solaire par rapport à la consommation d'énergie

Le graphe ci-dessus montre la comparaison entre l'énergie produite par le système solaire et la consommation totale d'énergie sur une base mensuelle. Les données sont représentées par deux lignes :

Énergie système solaire (en jaune) : Cette ligne montre une variation significative au cours de l'année, avec des pics autour des mois de mai et octobre, ce qui suggère une plus grande production d'énergie solaire pendant les mois d'été.

Consommation d'énergie totale (en orange) : Cette ligne reste constante tout au long de l'année, indiquant que la consommation totale d'énergie ne varie pas beaucoup avec les saisons.

Ce graphe est utile pour comprendre l'impact saisonnier sur la production d'énergie solaire et peut aider à planifier une gestion plus efficace de l'énergie tout au long de l'année.

4.3 Bilan énergétique

La figure suivante présente Le schéma du bilan énergétique

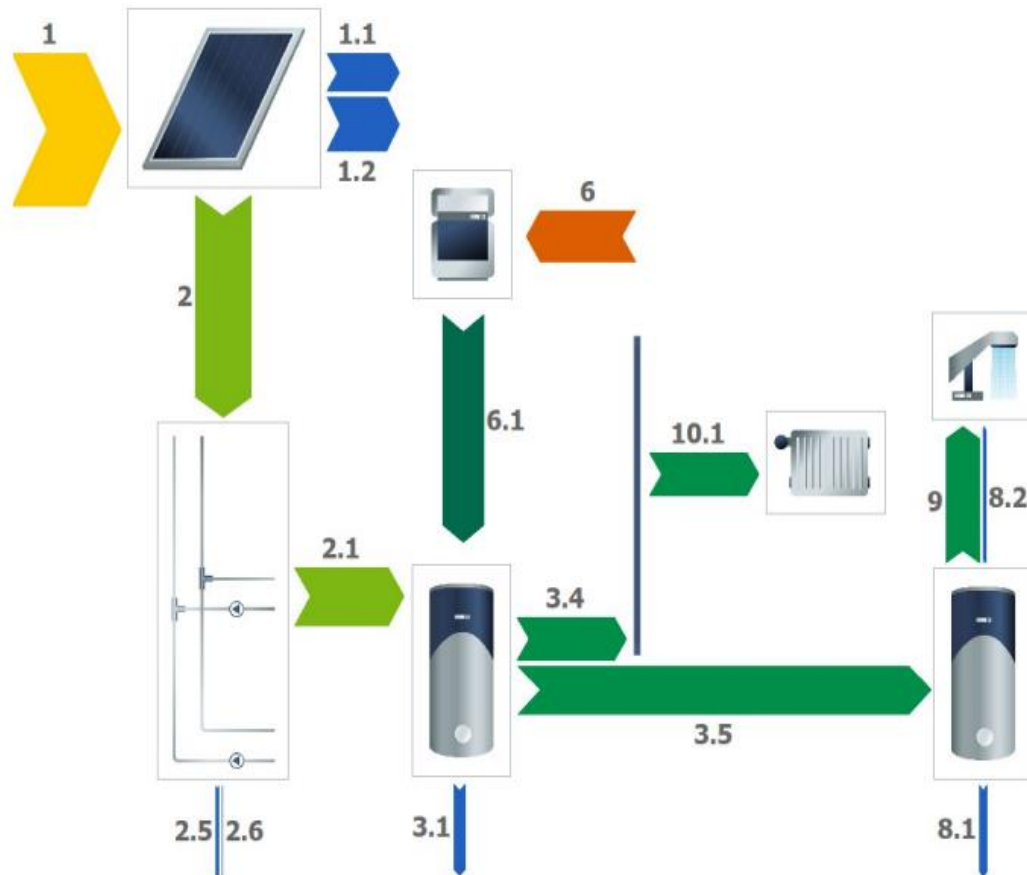


Figure IV-12 Le schéma du bilan énergétique

1 _ Irradiation sur la surface du capteur (Surface de réf.) 57 158 kWh

1.1 _ Pertes optiques sur les capteurs 14 091 kWh

1.2 _ Pertes thermiques des capteurs 20 310 kWh

2 _ Énergie du champs de capteurs 22 758 kWh

2.1 _ Énergie solaire au réservoir 21 605 kWh

2.5 _ Pertes sur la tuyauterie intérieure 978 kWh

2.6 _ Pertes sur la tuyauterie extérieure 175 kWh

3.1 _ Pertes ballon 4 571 kWh

3.4 _ Ballon au chauffage 16 078 kWh

3.5 _ Ballon au préparateur 17 761 kWh

6 _ Énergie finale 19 031 kWh

6.1 _ Énergie supplémentaire au réservoir 16 806 kWh

8.1 _Pertes préparateur 2 867 kWh

8.2 _Pertes boucle ECS 1 040 kWh

9 _ ECS-énergie du réservoir préparateur 13 827 kWh

10.1 _ Chaleur au chauffage HT. 16 078 kWh

4.3.1 Interprétation Générale :

Efficacité du Système : L'efficacité globale du système peut être évaluée en comparant l'énergie finale utile (19 031 kWh) à l'énergie initiale disponible (57 158 kWh). L'efficacité est donc d'environ 33.3%, ce qui signifie que le tiers de l'énergie solaire captée est finalement utilisée pour les besoins de chauffage et d'eau chaude.

Pertes Importantes : Les pertes majeures se situent au niveau des capteurs (optique et thermique), représentant près de 60% de l'énergie solaire initiale. Ensuite, des pertes significatives sont observées dans le réservoir et la tuyauterie.

Besoin en Énergie Supplémentaire : L'énergie supplémentaire nécessaire (16 806 kWh) montre que la production solaire ne suffit pas à couvrir tous les besoins énergétiques, nécessitant des apports externes.

Optimisation Potentielle : Il y a un potentiel pour améliorer le système en réduisant les pertes dans les capteurs, les tuyauteries, et le réservoir, ainsi que par une meilleure intégration et gestion de l'énergie solaire captée.

Alors le bilan énergétique met en évidence la nécessité d'améliorer l'efficacité des capteurs et des systèmes de stockage, ainsi que d'optimiser la distribution de l'énergie pour maximiser l'utilisation de l'énergie solaire et minimiser les apports externes.

4.4 Conclusion

La simulation annuelle démontre que l'énergie solaire est une solution viable et efficace pour la production d'eau chaude sanitaire, offrant des économies significatives en gaz méthane et contribuant à un rendement énergétique global positif, le système solaire fonctionne efficacement. Toutefois, des efforts supplémentaires sont nécessaires pour améliorer la contribution de l'énergie solaire au chauffage domestique et de production d'eau chaude sanitaire.

Conclusion

Ce travail porte sur la contributions et améliorations possibles de la production d'eau chaude sanitaire apartire du capteur solaire. À travers une analyse détaillée, il a été démontré que l'intégration de ces technologies dans les systèmes de chauffage domestique et industriel offre de nombreux avantages, tant sur le plan énergétique qu'environnemental.

Les résultats de nos simulations et études montrent clairement que l'utilisation de capteurs solaires thermiques pour la production d'eau chaude sanitaire permet une réduction significative de la consommation d'énergie fossile. En exploitant une source d'énergie abondante et renouvelable comme le soleil, il est possible de diminuer la dépendance aux combustibles traditionnels, ce qui contribue directement à la réduction des émissions de gaz à effet de serre.

Les simulations effectuées avec le logiciel T-Sol ont permis d'optimiser la conception des systèmes solaires thermiques, en identifiant les configurations les plus efficaces pour maximiser l'apport énergétique solaire tout en minimisant les pertes de chaleur. Les résultats obtenus montrent que, pour différents scénarios climatiques et de consommation, les systèmes bien dimensionnés peuvent couvrir une part importante des besoins en eau chaude sanitaire, réduisant ainsi le recours aux systèmes d'appoint.

En outre, l'analyse économique a révélé que, malgré un investissement initial plus élevé, les systèmes de production d'eau chaude sanitaire par capteurs solaires sont rentables à long terme grâce aux économies d'énergie réalisées et aux subventions ou incitations fiscales disponibles dans de nombreux pays.

Les avantages environnementaux sont également notables. La diminution de la consommation d'énergie fossile entraîne une réduction des émissions de CO₂ et autres polluants, contribuant ainsi à la lutte contre le changement climatique et à l'amélioration de la qualité de l'air.

Cependant, des améliorations restent possibles pour accroître encore l'efficacité et la viabilité économique de ces systèmes. Parmi les recommandations issues de cette étude, on peut citer :

Optimisation des matériaux et des technologies des capteurs : Développer des capteurs plus performants et résistants pour maximiser l'absorption solaire et réduire les pertes thermiques.

Amélioration des systèmes de stockage : Innover dans les technologies de stockage thermique pour prolonger la disponibilité de l'eau chaude même en l'absence de soleil.

Intégration intelligente des systèmes d'appoint : Développer des systèmes hybrides intelligents qui optimisent l'utilisation des sources d'énergie complémentaires en fonction de la disponibilité solaire et des besoins en eau chaude.

En conclusion, la production d'eau chaude sanitaire à partir de capteurs solaires représente une solution viable et écologique pour répondre aux défis énergétiques actuels. L'intégration de ces technologies dans les systèmes de chauffage domestique et industriel apporte des bénéfices significatifs, tout en offrant des opportunités d'amélioration continue pour répondre aux besoins énergétiques futurs.

Référence bibliographie

- [1] B. W. & O. D. A. Carroll, An Introduction to Modern Astrophysics. Pearson., 2006.
- [2] J. A. & B. W. A. Duffie, Solar engineering of thermal processes. John wiley & sons, 2013.
- [3] J. Meeus, Astronomical Algorithms, Willmann-Bell, 1991.
- [4] c. Laughton, Eau chaude solaire, 2010.
- [5] J. & W. T. Twidell, Renewable Energy Resources., Routledge, 2015.
- [6] planete, «futurasciences,» energierenouvelable-energie-solaire. [En ligne].
- [7] C. A. TALBI Nabil, Intégration de l'énergie solaire dans la gestion énergétique optimisée pour un bâtiment, Université A.MIRA-BEJAIA, 2020.
- [8] D. A. HAMIDAT, Le solaire thermique en Algérie: Histoire et perspectives, Directeur de Recherche de la Division Solaire Thermique et Géothermie, 2012.
- [9] S. E. M. K. A. ASKRI Abdallah, Étude de Défauts et Défaillances sur les Panneaux Photovoltaïques et leur Maintenance, El Oued, 2021.
- [10] B. H. S. -. B. M. Chikh, Etude d'un chauffe-eau solaire, d'Ain-Temouchent, 2019.
- [11] N. F. BENSAID MOHAMMED SALIM, Réalisation expérimentale et analyse énergétique et exergétique d'un capteur solaire à air à plaque lisse et ondulée, Tlemcen, 2023.
- [12] T. M. H. A. Zenatti Abderrahim, Capteur solaire en présence d'un absorbeur muni d'ailettes longitudinales, Ain Temouchent, 2022.
- [13] D. Blandin, Modélisation et validation expérimentale de nouveaux concepts de

ballons solaires à forte stratification, Lyon, 2010.

[14] J. A. & B. W. A. Duffie, Solar Engineering of Thermal Processes, 2013.

[15] A. M. -C. Thanina, ETUDE COMPARATIVE DES TROIS MODELS D'ECHANGEUR DE CHALEUR A PLAQUES PAR SIMULATION NUMERIQUE, Tizi-Ouzou, 2019.

[16] ADEME, «Chauffage et eau chaude sanitaire,» Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie , 2020.

[17] M. A. SMATTI, Contribution à l'étude d'un nouveau système de rafraîchissement et de ventilation par une tour du vent couplée avec un échangeur géothermique et une cheminée solaire cas de la cheminée solaire, 2020.

[18] «Les composants d'une installation solaire pour la production d'eau chaude et le chauffage des locaux,» *Office fédéral des questions conjoncturelles*, 1994.

[19] C. Laughton, Les chauffe-eau solaires présentent une variété d'installations, allant des capteurs sur les toits aux ballons de stockage intégrés, Paris, 2012.

[20] B. Malika, Simulation thermique d'une maison solaire pour la Production d'eau chaude sanitaire (ECS), Chlef, 2012.

[21] T. F. Z. MEKKI Dahbia, Etude d'un système solaire avec réservoir bivalent pour le chauffage d'habitat, tlemcen, 2012.

[22] J. A. & B. W. A. Duffie, Solar Engineering of Thermal Processes., 2013.

[23] A. M. Benakli Said Ouali, Dimensionnement et simulation d'une installation de chauffage et production d'eau chaude sanitaire pour une maison individuelle, Alger, 2013.

[24] K. A. ERRAHMANE, CONVERSION THERMIQUE DE L'ENERGIE SOLAIRE ET APPLICATION POUR LA PRODUCTION D'EAU CHAUDE SANITAIRE (ECS), ANNABA, 2015.

[25] D. H. Sad Arezki, Étude et simulation des chauffe-eaux solaires : transfert de chaleur dans un capteur solaire thermique, Algérie, 2018.

- [26] F. Yettou, Étude et réalisation d'un logiciel de dimensionnement d'un chauffe-eau solaire, Oran, 2019.
- [27] R. M. M. Ziani, Le chauffage solaire : simulation et optimisation des systèmes solaires combinés à l'aide de GET SOLAR, 2020.
- [28] B. M. CHILI Nassim, Étude d'un système de stockage thermique par chaleur latente a changement de phase : application à un système solaire de production d'eau chaude sanitaire, Tizi-Ouzou , 2020.
- [29] E. N. Azzouz Mahammed chamseddine, Simulation d'un système solaire thermique destiné à une habitation, tlemcen, 2022.
- [30] F. COULIDIATI, Conception et construction d'un système de production d'eau chaude sanitaire à énergie renouvelable ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE, 2022.
- T. A. Z. BADA MOHAMMAD OUAHID, DIMENSIONNEMENT ET
- [31] OPTIMISATION D'UNE INSTALLATION SOLAIRE COLLECTIVE D'EAU CHAUDE SANITAIRE POUR LES BESOINS D'UNE FERME AQUACOLE, ouargla, 2023.