

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République algérienne démocratique et populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

المركز الجامعي لعين تموشنت

Centre Universitaire Belhadj Bouchaib d'Ain-Temouchent

Institut des Sciences et de la Technologie

Département de Génie Electrique



Mémoire pour l'Obtention du diplôme de Master

Filière : Electromécanique

Spécialité : Electromécanique

Thème

## Etude d'un chauffe-eau solaire

### Présenté Par :

BOUAZA HAMADOUCHE Soumia

BERRALEM Mohammed Chikh

Soutenu le :

### Devant le jury composé de :

Mr AISSOU Massinissa

MCA CUBBAT (Ain Témouchent) Président

Mr OUDAD Wahid

PROF CUBBAT (Ain Témouchent) Examineur

Mr NEHARI Driss

PROF CUBBAT (Ain Témouchent) Encadreur

Mr BAKI Touhami

MCA USTO (Oran) Invité

*Année universitaire 2018/2019*

---



---

## REMERCIEMENT

---

*On remercie tout d'abord Dieu le tout puissant qui nous a éclairé le bon chemin et donné la patience et le courage durant ces longues années d'étude.*

*Nos vifs remerciements :*

*A Nos parents pour leurs contributions, leurs soutiens et leurs patiences.*

*A notre encadreur Professeur NEHARI Driss pour ses précieux conseils et son orientation ficelée tout au long de notre parcours du projet de fin d'étude.*

*Aux responsables et aux enseignants du département Génie électrique qui par leur compréhension et leur aide, on a pu accomplir notre travail.*

*A nos familles et nos amis qui par leurs prières et leurs encouragements, on a pu surmonter tous les obstacles.*

*Enfin, nous adressons nos plus sincères remerciements à tous nos proches et amis, qui nous ont toujours encouragés au cours de la réalisation de ce mémoire.*

*Merci à tous et à toutes.*

---

## DEDICACE

---

*Je dédie ce travail*

*A mes chers parents, et ma grande mère.*

*A Ceux qui ont éclairés mon chemin et qui m'ont encouragé et  
soutenu tout au long de mes études ;*

*A ma seour Arwa soujoud , et mes frères Aymen et Reda .*

*A mon Binôme Mohamed et tous mes amis de la promotion.*

*A mes professeurs, à tous ceux qui m'ont assisté et soutenu  
dans mes études, qui*

*ont beaucoup fait pour moi, et à M REMLAOUI Ahmed.*

*A tous les membres de ma grande famille BOUAZZA  
Hamadouche*

*Bouazza Hamadouch Soumia*

---

## DEDICACE

---

يشرفني أن أهدي بإخلاص هاذ العمل المتواضع إلى أمتنا العظيمة  
ووطننا الغالي الحبيب.

وإلى أغلى وأعز الناس على قلبي من لا تسعفني الكلمات لشكره ولا  
الدهر يكفيني لرد جميله، يا من سهر لأنام وتعب لأرتاح  
**والداي الحبيبان** أتمنى أن تجدا في مصدر فخركما.

**وإلى إخوتي وأخواتي** وكل أفراد عائلتي الطيبة الذين ساندوني طيلة حياتي  
الدراسية

كما أهديه لكل من ساهم في هذا العمل من قريب أو بعيد

برالم محمد شيخ

---

## RESUME

---

Dans le cadre de ce travail on s'est proposé de faire l'étude énergétique et la mise en installation d'un chauffe-eau solaire à circulation forcée. L'investigation énergétique nous permettra de gérer ce type d'installation sans recourir aux énergies fossiles et à l'approvisionnement à partir des réseaux électriques ou autres. Ceci est réalisé en utilisant le code TRNSYS, celui-ci nous a permis aussi d'optimiser les moyens énergétiques disponible sur site.

Après une étude bibliographique sur le sujet, on a procédé à la modélisation énergétique du chauffe-eau solaire en s'appuyant sur des données de rayonnement considérant le cas d'Ain Temouchent, ensuite on a réalisé l'étude thermique le long d'année et pour différentes saisons de l'année. L'intérêt de ce travail réside ; de manière générale, dans sa contribution à la production d'eau chaude de qualité avec un coût réduit. Les résultats obtenus sont satisfaisants et ne constituent qu'une partie d'un vaste domaine.

Comme on se prépare d'affronter le monde du travail, l'étude a été conclue par l'exposé des différentes étapes de la mise en installation du chauffe-eau.

Mots clés : Chauffe-eau solaire, étude énergétique, TRNSYS, mise en installation.

## الملخص

كجزء من هذا العمل، تم اقتراح إجراء دراسة حول الطاقة الشمسية وتركيب سخان المياه بالطاقة الشمسية القسري. سيسمح لنا فحص الطاقة بإدارة هذا النوع من التركيب دون اللجوء إلى الوقود الأحفوري والإمداد من الكهرباء أو الشبكات الأخرى. يتم محاكاة التركيب باستخدام كود TRNSYS ، فقد سمح لنا أيضًا بتحسين الطاقة المتوفرة في الموقع.

بعد دراسة ببليوغرافية حول الموضوع، شرعنا في نمذجة الطاقة لسخان المياه بالطاقة الشمسية استنادًا إلى بيانات الإشعاع التي تأخذ بعين الاعتبار حالة عين تموشنت، ثم أجرينا الدراسة الحرارية على مدار العام وللصول المختلفة من السنة. المصلحة من هذا العمل تكمن؛ بشكل عام، في مساهمتها في إنتاج مياه ساخنة عالية الجودة بتكلفة منخفضة. النتائج التي تم الحصول عليها مرضية وتشكل فقط جزءًا من مجال واسع. بينما نستعد لمواجهة عالم العمل، اختتمت الدراسة بعرض المراحل المختلفة لتركيب سخان المياه.

الكلمات الرئيسية: سخان المياه بالطاقة الشمسية، دراسة الطاقة، TRNSYS، تركيب سخان المياه.

# SOMMAIRE

REMERCIEMENT .....	I
DEDICACE.....	II
DEDICACE.....	III
RESUME.....	IV
الملخص.....	V
SOMMAIRE .....	VI
LISTE DES TABLEAUX ET FIGURES .....	IX
NOMENCLATEUR.....	XII
INTRODUCTION GENERALE .....	1
<b>CHAPITRE I : GENERALITE SUR L'ENERGIE SOLAIRE.....</b>	<b>3</b>
1. Introduction : .....	3
2. Energie renouvelable : .....	3
3. Energie solaire : .....	5
3.1. Rayonnement solaire : .....	5
3.2. Conversion de l'énergie solaire : .....	6
4. Potentiel solaire en Algérie : .....	7
5. Types des captures solaires : .....	8
5.1. Les différents types des capteurs solaires thermiques : .....	9
5.2. Les captures solaires plans : .....	9
6. Le Photovoltaïque : .....	15
6.1. Principe de fonctionnement : .....	15
6.2. Les différents types des cellules photovoltaïques : .....	17
6.3. Générateur photovoltaïque : .....	18
<b>CHAPITRE II : LES CHAUFFE-EAU SOLAIRE.....</b>	<b>19</b>
1. Introduction : .....	20
2. Définition de chauffe-eau solaire : .....	20
3. Les types de chauffe-eau solaire : .....	21
3.1. Chauffe-eau solaires thermique : .....	21
3.2. Les systèmes solaires photovoltaïques: .....	23
4. Chauffe-eau solaire thermique utilisé dans notre cas : .....	26

<b>CHAPITRE III : MODELISATION THERMIQUE</b> .....	27
1. Introduction : .....	28
2. Présentation du logiciel TRNSYS :.....	28
3. Modélisation et simulation des différents sous système du cycle :.....	29
3.1. Champ solaire :.....	29
3.2. Ballon d'eau chaude (ballon de stockage thermique) (Type 60d) : .....	31
3.3. La pompe :.....	32
3.4. Les controleurs : .....	32
4. L'évolution temporelle des conditions météorologiques d'Ain Temouchent :.....	33
5. Présentation du modèle de l'installation à étudié : .....	36
6. Etude du système sans appoint : .....	38
6.1. Etude de l'évolution de la température pour un système sans appoint : .....	38
6.2. Etude de l'évolution de la chaleur utile pour un système sans appoint : .....	40
7. Etude du système avec appoint : .....	41
7.1. Etude de l'évolution de la température pour un système avec appoint : .....	41
7.2. Etude de l'évolution de la chaleur utile pour un système avec appoint : .....	43
7.3. Etude de l'évolution de la chaleur auxiliaire pour un système avec appoint : .....	44
<b>CHAPITRE IV : MONTAGE DE CHEUFF-EAU SOLAIRE A CERCULATION FORCEE</b>	45
1. Introduction : .....	46
2. Fonctionnement : .....	46
2.1. Le fonctionnement du chauffe-eau solaire : .....	46
2.2. Le circuit électrique et la régulation : .....	49
3. Installation : .....	53
3.1. Installation du panneau solaire sur un toit plan : .....	53
3.2. Installation du ballon à l'intérieur de l'habitation : .....	57
3.3. Installation des capteurs et du régulateur : .....	59
3.4. Branchement du circuit hydraulique : .....	63
3.5. Branchement du circuit électrique : .....	70
4. Mise en marche : .....	73
4.1. Vérification des branchements électriques : .....	73
4.2. Vérification du circuit hydraulique : .....	73
4.3. Remplissage du circuit hydraulique fermé : .....	73

4.4. Remplissage du circuit hydraulique ouvert : .....	74
4.5. Mise en marche de l'installation : .....	74
CONCLUSION GENERALE .....	75
BIBLIOGRAPHIE .....	76

---

## LISTE DES TABLEAUX ET FIGURES

---

Figure 1 : Représente les différentes filières des énergies renouvelables.[4] .....	4
Figure 2 : Les disparités entre les sources d'énergies renouvelables.[4] .....	5
Figure 3 : Les composants du rayonnement solaire.[6] .....	6
Figure 4 : Classification des divers rayonnements électromagnétiques.[6] .....	7
Figure 5 : Atlas solaire Algérien.[8].....	8
Figure 6 : Capteurs solaire plan vitré.[11].....	10
Figure 7 : Capteur solaire plan non vitré.[11] .....	10
Figure 8 : Capteur solaire a tube sous vide.[11].....	11
Figure 9 : Capteur cylindro-parabolique.[12].....	12
Figure 10 : Schéma de principe d'un capteur linéaire de Fresnel. [13].....	13
Figure 11 : Capteurs solaires paraboliques. [15].....	14
Figure 12 : Schéma de principe de principe d'une centrale à tour. [16] .....	15
Figure 13 : Le principe de fonctionnement d'une cellule solaire. [17] .....	16
Figure 14 : cellule monocristalline.[17] .....	17
Figure 15 : cellule polycristalline. [17] .....	17
Figure 16 : cellules amorphes. [17].....	18
Figure 17: schéma d'un chauffe-eau solaire.[18].....	21
Figure 18: Schéma de fonctionnement d'un chauffe-eau monobloc.[22].....	22
Figure 19: Schéma de fonctionnement d'un thermosiphon séparés.[22] .....	22
Figure 20 : Schéma de fonctionnement d'un chauffe-eau solaire à circulation forcée.[22] .....	23
Figure 21: Système photovoltaïque autonome.[18] .....	24
Figure 22: Système photovoltaïque connecté au réseau.[18].....	25
Figure 23 : Chauffe-eau solaires hybrides.....	25
Figure 24 : Le chauffe-eau solaire a circulation forcée.[25] .....	26
Figure 25 : Champ solaire. ....	29
Figure 26 : la variation annuelle de GHI à Ain Témouchent. ....	34
Figure 27 : Vitesse du vent et température au cours de l'année du site. ....	35
Figure 28 : la boucle de simulation par le logiciel TRNSYS.....	36
Figure 29 : Schéma du chauffe-eau solaire (1: sortie du fluide solaire du collecteur ; 2 : sortie du fluide solaire du ballon de stockage thermique ; 3 : entrée de l'eau au ballon de stockage ; 4 : sortie de l'eau chaude du Ballon de stockage, 5 : entrée du fluide solaire au collecteur thermique). .....	37

Figure 30 : Evolution de la température de sortie (T1) et d'entrée (T2) au capteur plan pour le cas d'un chauffe-eau solaire sans appoint. ....	38
Figure 31 : Evolution de la température de sortie du ballon de stockage thermique (T4) pour le cas d'un chauffe-eau sans appoint. ....	39
Figure 32 : Evolution de la chaleur utile pour le cas d'un chauffe-eau sans appoint. Respectivement au 1 <sup>er</sup> Janvier ; 1 <sup>er</sup> Avril ; 1 <sup>er</sup> Aout et 1 <sup>er</sup> Novembre. ....	40
Figure 33 : Evolution de la température de sortie (T1) et d'entrée (T2) au capteur plan pour le cas d'un chauffe-eau solaire avec appoint. ....	41
Figure 34 : Evolution de la température de sortie du ballon de stockage thermique (T4) pour le cas d'un chauffe-eau avec appoint. Respectivement au 1 <sup>er</sup> Janvier ; 1 <sup>er</sup> Avril ; 1 <sup>er</sup> Aout et 1 <sup>er</sup> Novembre. ....	42
Figure 35 : Evolution de la chaleur utile pour le cas d'un chauffe-eau avec appoint. Respectivement au 1 <sup>er</sup> Janvier ; 1 <sup>er</sup> Avril ; 1 <sup>er</sup> Aout et 1 <sup>er</sup> Novembre. ....	43
Figure 36 : Evolution de la chaleur auxiliaire pour le cas d'un chauffe-eau avec appoint. Respectivement au 1 <sup>er</sup> Janvier ; 1 <sup>er</sup> Avril ; 1 <sup>er</sup> Aout et 1 <sup>er</sup> Novembre. ....	44
Figure 37:schéma de l'installation.[24].....	47
Figure 38 : La Résistance électrique. ....	50
Figure 39 : Thermostat. ....	50
Figure 40 : Le Régulateur TDC1 Plus.[24].....	51
Figure 41: Schéma de montage de la base de support.[24].....	54
Figure 42 :Raccord de la base de support.[24].....	54
Figure 43 : Schéma d'Orientation de panneau.[24] .....	55
Figure 44 : Raccord de Capteur. [24].....	56
Figure 45 : Ballon.....	57
Figure 46 : Dimensions des connexions hydrauliques.[24] .....	57
Figure 47 : Echangeur.[24].....	58
Figure 48 : anode en magnésium.[24].....	58
Figure 49 : Sonde à immersion TT/S2.[27].....	59
Figure 50 : Sonde à immersion TT/P4.[27].....	60
Figure 51 : Boitier.[28].....	60
Figure 52 : Raccordement électrique.[28].....	61
Figure 53 : Raccordement électrique. [28].....	62
Figure 54 : kit Hydraulique.[24] .....	63
Figure 55 : vase d'expansion.[30]	
Figure 56 : Groupe de sécurité.[30] .....	66

Figure 57 : Clapet anti-retour.[29] .....	67
Figure 58 : Soupape de sécurité.[29].....	68
Figure 59 : Robinet de vidange.[29].....	68
Figure 60 : Purgeur automatique.[29] .....	69
Figure 61 : Branchement de la résistance électrique.[24]	
Figure 62 : Câble 3G2.5 mm <sup>2</sup> Bleu- Marron V/J. ....	70
Figure 63 : Résistance électrique vue de face.[24].....	71
Figure 64 : Résistance électrique vue de droit.[24].....	71
Figure 65 : Résistance électrique vue de face.[24].....	72
Figure 66 : Résistance électrique vue de droit.[8].....	72
Figure 67 : schéma d'une installation solaire a circulation forcée. ....	74
Tableau 1: Statistiques des degrés d'ensoleillement par zones.[8] .....	8
Tableau 2: Principaux paramètres d'entrée du capteur solaire plan pour la simulation TRNSYS.....	30
Tableau 3 : Paramètres du ballon d'eau chaude (Type 60d).....	31
Tableau 4 : Paramètres d'entrée de la pompe pour la simulation TRNSYS. ....	32
Tableau 5 : Paramètres d'entrée de régulateur de température différentielle pour la simulation TRNSYS.....	32
Tableau 6 : les caractéristiques climatiques de la ville d'Ain Temouchent. ....	33
Tableau 7: Valeur d'Orientation de panneau.[24].....	55
Tableau 8 : Dimensions.[24] .....	58
Tableau 9 : les taux de mélange eau/fluide selon les températures extérieures.[29].....	67

---

## NOMENCLATEUR

---

### Symboles et Unité

### Notations principales

Si .....	Le silicium.
Ge .....	Le germanium.
Se .....	Le sélénium.
GaAs .....	L'arséniure de gallium.
CdTe .....	Le tellure de cadmium.
N .....	La charge des électrons
P .....	La charge des trous.
Eph .....	Energie des photons.
LFR .....	Le concentrateur à Réflecteur Linéaire de Fresnel.
ECS .....	Eau chaude sanitaire.
IP .....	Code de protection.
SPDT .....	Single pole, double throw.
Pt1000 .....	Sonde de température.
TT/S2.....	Sonde à immersion
TT/P4.....	Sonde à immersion
TR/P4.....	Sonde à contact
T.....	Température
It .....	Capacité.
m <sup>2</sup> .....	Surface d'échange.
lt .....	Capacité de l'échangeur.
m <sup>3</sup> /h .....	Débit primaire.
mbar .....	Pression en bar
kW .....	Puissance.
lt/h .....	Débit continu.
KWH/24H .....	Consommation quotidienne d'énergie solaire.
kg .....	Poid.
L .....	Phase.
N .....	Neutre.
R .....	Relais électronique

PE .....Le fil de protection (protection électrique).  
H .....Hertz.  
MAG .....Magnétoscope.  
mm<sup>2</sup>/s .....Viscosité du fluide  
D .....Diamètre en mm  
TWh/an .....Le potentiel en énergie renouvelable.  
UV .....Ultraviolet.  
PVC.....Polychlorure de vinyle.  
TDC..... Thermostat Différentiel de Contrôle.  
SETTER Inline UN .....Équilibrage hydraulique et contrôle du débit  
directement au corps principal ou intégré dans une installation.

## INTRODUCTION GENERALE

Le développement et l'expansion industrielle, ainsi que l'augmentation rapide de la population ont entraîné un accroissement important de la demande énergétique. Pour la satisfaire, à long terme, l'utilisation des sources d'énergie d'origine fossile conduira d'une part à une surexploitation de ces ressources et à une dégradation de l'environnement, d'autre part. L'utilisation de source d'énergie non nuisible à l'environnement, comme l'énergie solaire est nécessaire et indispensable dans certains cas. Cette source d'énergie est utilisée de manières différentes, par exemple : dans les systèmes thermiques (chauffe-eau solaires) pour la production d'eau chaude, domaine où elle connaît un développement considérable particulièrement dans le secteur de l'habitat.

A cet effet notre projet, qui porte sur l'énergie solaire et plus particulièrement sur les capteurs solaires thermiques, nécessite une étude de cas concrète. Ainsi, nous avons appliqué notre étude à une habitation d'Ain Temouchent et tenté de déterminer les besoins pour l'installation de capteurs solaires thermiques. Notre but était donc de voir si l'on pouvait envisager la mise en place d'un système solaire thermique. L'exploitation des données acquises sur le terrain a été réalisée avec les logiciels TRNSYS 16, ce qui a permis de planifier le dimensionnement.

D'autre part, la régulation de la température dans les systèmes de chauffe-eau solaires occupe une fonction déterminante. En effet, la gestion de ce paramètre est fonction de plusieurs éléments (les besoins de l'utilisateur en quantité d'eau chaude ; la température de l'eau chaude ; les conditions climatiques locales ; les performances du système à capteurs plans). Les techniques de contrôle et de régulation de température ont fait des progrès très avancés. Actuellement, on utilise des systèmes de régulation pilotés à partir des microcontrôleurs ou unité de commande dans la majorité des procédés de contrôles, notamment ceux de températures, l'intérêt de ces systèmes réside ; de manière générale, dans leurs contributions à la production de qualité avec un coût réduit.

Ce mémoire est divisé en quatre chapitres, réparti comme suit :

- Dans le premier chapitre, nous avons présenté une généralité sur l'énergie solaire tout en un aperçu sur les différents collecteurs thermiques (plane et à concentration) et sur les systèmes photovoltaïques.
- Dans le deuxième chapitre, a pour objet de fournir un maximum d'information sur le chauffe-eau solaire et en particulier celui plan à circulation forcée.
- Dans le troisième chapitre, nous nous sommes intéressés à la modélisation thermique du chauffe-eau solaire à circulation forcée en utilisant le code de calcul TRNSYS 16. Les résultats trouvés sont représentés sous forme de courbes avec une interprétation physique.
- Dans le quatrième chapitre expose la procédure de montage de l'installation à chauffe-eau solaire à circulation forcée choisie et donnera toutes les étapes de montage et de mise en marche de cette unité solaire.

# **CHAPITRE I :**

---

## **GENERALITE SUR L'ENERGIE SOLAIRE**

---

## **1.Introduction :**

Les sources d'énergie jouent un rôle très important dans le développement de l'humanité, avec l'évolution l'industrielle et technologique de notre siècle.

La demande énergétique est croissante chaque année, pour cette raison il faut chercher sur une autre source d'énergie nouvelle plus précisément les énergies renouvelables et notamment l'énergie solaire.

L'énergie solaire est présentée par deux systèmes :

- Système solaire thermique (chaleur) : Les capteurs solaires thermiques.
- Système solaire photovoltaïque (électricité) : Panneaux ou modules photovoltaïque.

## **2.Energie renouvelable :**

Les énergies renouvelables sont des énergies qui peuvent être renouvelées ou régénérées naturellement. Elles peuvent donc être utilisées sans limite dans le temps tandis que les énergies fossiles proviennent de réserves qui s'épuisent. Il y a cinq familles principales d'énergies renouvelables. Dans l'ordre d'importance de leur exploitation actuelle, ce sont :[3]

- L'énergie solaire
- l'énergie éolienne
- l'énergie hydraulique (hydroélectricité)
- la biomasse (avec le bois de chauffage, ainsi que biogaz...)
- la géothermie

Les systèmes d'utilisation d'énergie renouvelable sont très variés, certains sont mis en œuvre par des particuliers et d'autres ne sont possibles ou rentables que dans de grandes installations. La quantité d'énergie produite par l'ensemble des énergies renouvelables est assez grande, mais par rapport au total de l'énergie consommée (encore beaucoup plus grand), cela reste une part assez faible. Pour que cette part augmente sérieusement, il faudrait non seulement une augmentation de la production d'énergies renouvelables mais il serait nécessaire que l'énergie consommée au total diminue beaucoup.[3]

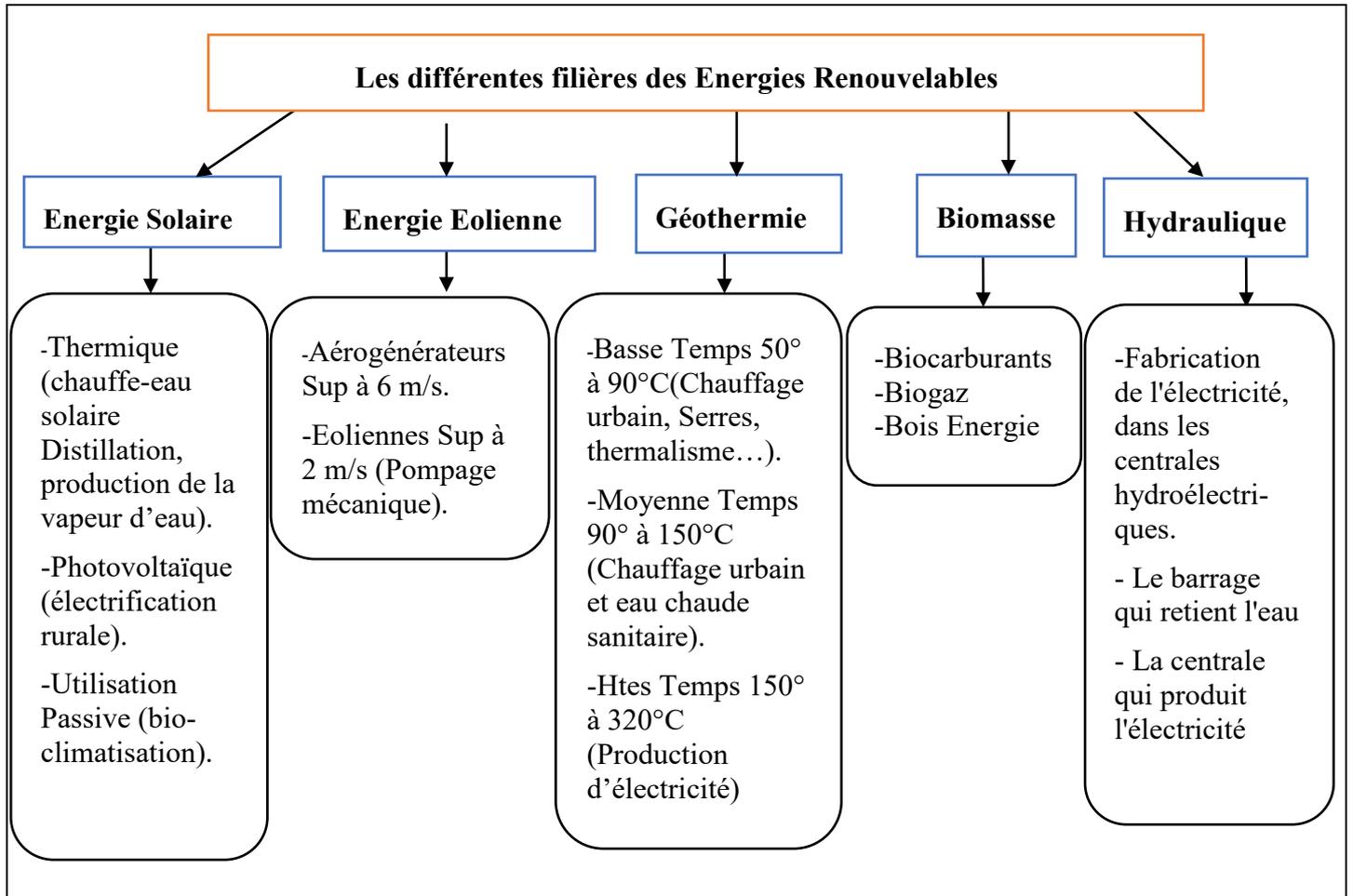


Figure 1 : Représente les différentes filières des énergies renouvelables.[4]

Globalement, la part des énergies renouvelables dans la production d'électricité reste encore faible 20% de l'électricité produite dans le monde est d'origine renouvelable. L'essentiel étant toujours issu des combustibles fossiles, tels que le pétrole ou le charbon (62,7%) et par l'énergie nucléaire (17,1 %).[4]

Ces chiffres masquent les disparités entre les sources d'énergies renouvelables. À elle seule, l'hydroélectricité génère 92,5 % de l'électricité issue des énergies renouvelables. Les utilisations de la biomasse produisent 5,5 % du courant mondial « vert », la géothermie 1,5 %, l'éolien 0,5 % et les techniques solaires y contribuent seulement pour 0,05 %.[4]

Toutefois, ces grandes masses sont extrêmement variables d'un pays à l'autre. Tout est, en effet, fonction des gisements d'énergies renouvelables. Ainsi, 99,2 % de l'électricité de Norvège (pays pétrolier) est générée par les barrages. À l'inverse, les Pays-Bas, pays très sensible aux questions environnementales, utilisent très marginalement les énergies renouvelables pour produire leur électricité : moins de 5 %.[4]

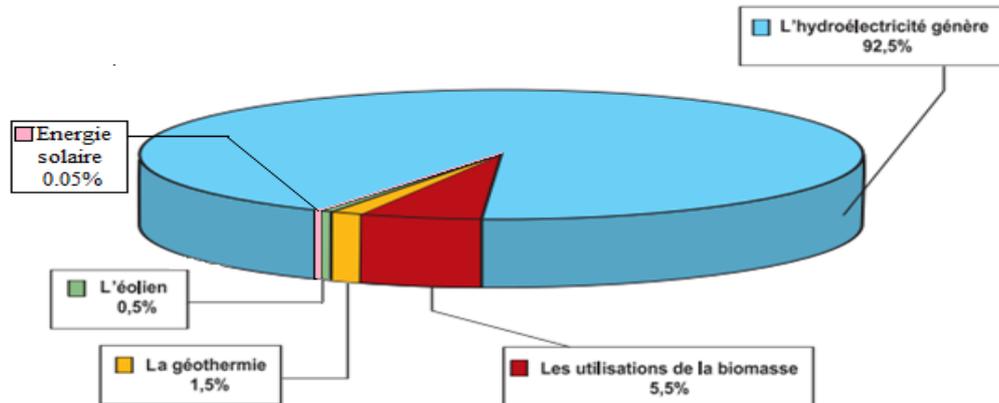


Figure 2 : Les disparités entre les sources d'énergies renouvelables.[4]

### 3. Energie solaire :

Le soleil est la première et la principale source d'énergie renouvelable. Ces rayons sont retenus par des capteurs thermiques vitrés et sont transformés pour produire de l'énergie électrique ou pour réchauffer de l'eau destinée à un usage sanitaire. Pour pouvoir exploiter l'énergie solaire, on peut se servir soit de **panneaux solaires photovoltaïques**, soit de **panneaux solaires thermiques**. [5]

#### 3.1. Rayonnement solaire :

Le rayonnement Solaire est une énergie produite par le Soleil à la suite de réactions de fusion thermonucléaire qui dégage une très grande quantité d'énergie, source de la plupart des énergies disponibles sur Terre et exploitable pour la production d'électricité. L'énergie solaire se propage dans l'espace sous la forme de « grains », ou quanta d'énergie, les photons ; elle est sans cesse renouvelée. [6]

-Le **rayonnement direct** est la lumière parvenant directement du soleil par ciel clair.

-Le **rayonnement diffus** est le rayonnement émis par des obstacles (nuages, sol, bâtiments) et provient de toutes les directions. La part du rayonnement diffus n'est pas négligeable et peut atteindre 50% du rayonnement global (selon la situation géographique du lieu). Le rayonnement global sur la terre et sa part de rayonnement diffus varie au cours de l'année.

-Le **rayonnement global** qui est la somme du rayonnement direct et diffus.

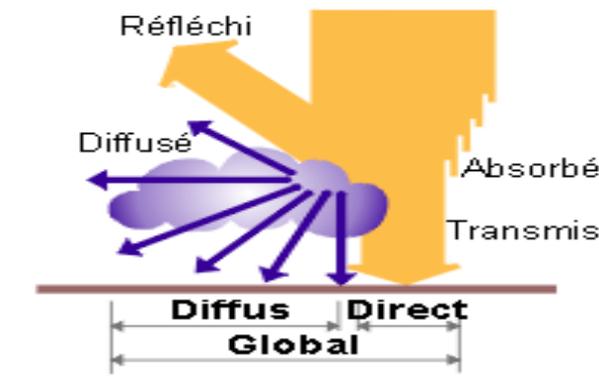


Figure 3 : Les composants du rayonnement solaire.[6]

### **3.2. Conversion de l'énergie solaire :**

L'énergie solaire est transmise à la terre à travers l'espace sous forme de photons et de rayonnement électromagnétique. Cette énergie peut être captée et transformée en chaleur ou en électricité grâce à des capteurs adaptés.[6]

L'énergie du soleil peut être utilisée de différentes façons en employant trois grandes technologies soient, l'énergie solaire passive, l'énergie solaire thermique et l'énergie photovoltaïque.[6]

#### **3.2.1. L'énergie solaire passive :**

Elle remplace avantageusement les énergies conventionnelles utilisées pour chauffer ou refroidir les bâtiments. L'énergie solaire passive, capable de fonctionner seule sans apport d'énergie extérieure, elle utilise l'architecture des bâtiments, l'orientation des murs, toits et fenêtres pour capter les rayons du soleil.[6]

#### **3.2.2. L'énergie photovoltaïque :**

Par l'utilisation de panneaux photovoltaïques, une partie du rayonnement solaire est directement transformée en électricité. Ces panneaux solaires sont composés de cellules photovoltaïques constitués principalement de silicium. Le principe de l'obtention du courant par les cellules photovoltaïques se nomme effet photoélectrique, qui consiste à l'émission d'électrons par un matériau soumis à Traction de la lumière. Cette production d'énergie électrique peut alors être stockée dans des batteries ou converties à l'aide d'un onduleur pour être distribuée dans le réseau électrique.[6]

#### **3.2.3. L'énergie solaire thermique :**

A l'aide de capteurs solaires, le capteur solaire actif transforme les rayons solaires en énergie thermique. Il emploie une source d'électricité supplémentée pour actionner des pompes ou des ventilateurs qui distribuent l'énergie solaire à l'intérieur du bâtiment. Celle-ci est acheminée vers un autre endroit, ou elle sera utilisée immédiatement ou stockée en vue d'un

## CHAPITRE I : GENERALITE SUR L'ENERGIE SOLAIRE

usage ultérieur. Le transfert de chaleur s'effectue au moyen d'un fluide caloporteur, qui peut-être de l'eau, de l'antigel ou de l'air.[6]

On utilise les systèmes solaires thermiques principalement pour le chauffage de l'air et de l'eau. Il existe d'autres applications telles que la climatisation, le séchage de produit, la détoxification d'eau contaminée et la production d'énergie électrique d'origine thermique. Les systèmes solaires actifs ont plusieurs applications. Essentiellement, on distingue deux grandes catégories. Le système de chauffage solaire de l'eau, et le système de chauffage solaire de l'air.[6]

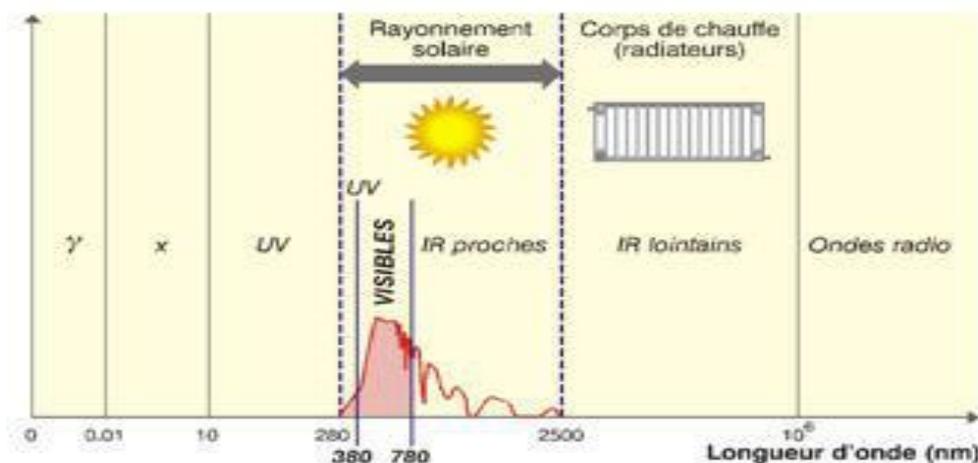


Figure 4 : Classification des divers rayonnements électromagnétiques.[6]

### 4. Potentiel solaire en Algérie :

Par sa situation géographique, l'Algérie dispose de l'un des gisements solaires les plus élevés au monde. La durée d'insolation sur la quasi-totalité du territoire national dépasse les 2000 heures annuellement et peut atteindre les 3900 heures (hauts plateaux et Sahara) (Tableau 1). L'énergie reçue quotidiennement sur une surface horizontale de  $1\text{m}^2$  est de l'ordre de  $5\text{KW/h}$  sur la majeure partie du territoire national, soit près de  $1700\text{ (KW/h/m}^2\text{) /an}$  au Nord et  $2263\text{ (KWh/m}^2\text{) /an}$  au Sud, voire carte solaire.[7]

Le potentiel en énergie renouvelable le plus important, en Algérie, c'est le solaire. Il est le plus important de tout le bassin méditerranéen (Figure 5) :[7]

-169 440 TWh/an [T] : Téra 10<sup>12</sup>

-5.000 fois la consommation algérienne en électricité

-60 fois la consommation de l'Europe des 15 (estimée à 3.000 TWh/an)

Régions	Région côtière	Hauts plateaux	Sahara
Superficie (%)	4	10	86
Durée moyenne d'ensoleillement (heures/an)	2650	3000	3500
Energie moyenne reçue (Kwh/m <sup>2</sup> /an)	1700	1900	2650

Tableau 1: Statistiques des degrés d'ensoleillement par zones.[8]

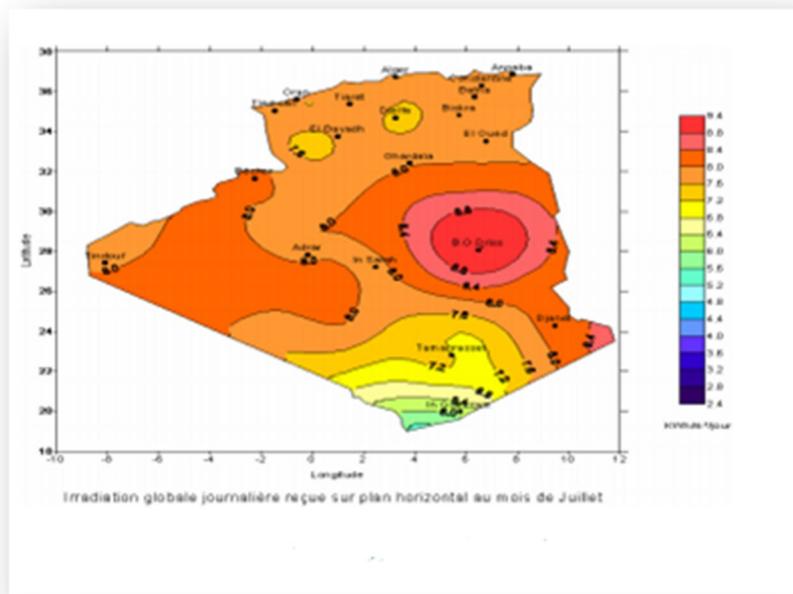


Figure 5 : Atlas solaire Algérien.[8]

## 5. Types des captures solaires :

Il existe deux grands types de capteurs solaires.[9]

### -Capteurs solaires thermiques :

Les capteurs de chaleur solaire sont des appareils transformant l'énergie du rayonnement solaire en énergie thermique en se basant sur l'effet de serre.

### -Capteurs solaires photovoltaïques :

Il s'agit des appareils transformant l'énergie du rayonnement solaire en énergie électrique.

### **5.1. Les différents types des capteurs solaires thermiques :**

Le solaire thermique consiste à transformer les rayonnements solaires en chaleur. Cette source d'énergie renouvelable commence à se développer. Son utilisation se fait principalement pour produire l'eau chaude sanitaire, mais elle peut être utilisée comme complément pour le chauffage de la maison. Différents types de capteurs solaires thermiques existent. L'extraction de la chaleur se fait grâce à la circulation du fluide caloporteur dans un conduit recevant l'énergie calorifique.[10]

Il existe différentes méthodes pour capter l'énergie solaire provenant d'un rayonnement incident. La liste ci-dessous présente quelques-uns des types les plus répandus des capteurs solaires.[9]

### **5.2. Les captures solaires plans :**

#### **5.2.1. Capteur plan vitré :**

C'est le modèle le plus répandu. Il est constitué d'une caisse isolée couverte par un vitrage. A l'intérieur est placé l'absorbeur, un serpentín contenant le fluide à réchauffer. Pour que le serpentín absorbe mieux la chaleur, il est bordé par des ailettes noires, la couleur noire transformant mieux la chaleur absorbée. Dans ce genre de modèle, l'absorbeur est protégé contre les déperditions thermiques par un matériau isolant (la plupart du temps, de la laine de roche).[11]

La vitre est faite de verre trempé très résistant (intempéries, grêle), très transparente (faible teneur en fer) et spécialement conçue pour présenter un faible niveau de réflexion afin d'emmagasiner un maximum de chaleur. Si ces capteurs sont les modèles les plus choisis, c'est qu'ils sont :[11]

- Robustes et d'une structure simple.
- Techniquement perfectionnés (qualité de la vitre, isolation).
- D'un rapport prix/performances sans égal.
- Faciles à intégrer grâce à leur surface plane.
- Discrets en montage sur le toit.

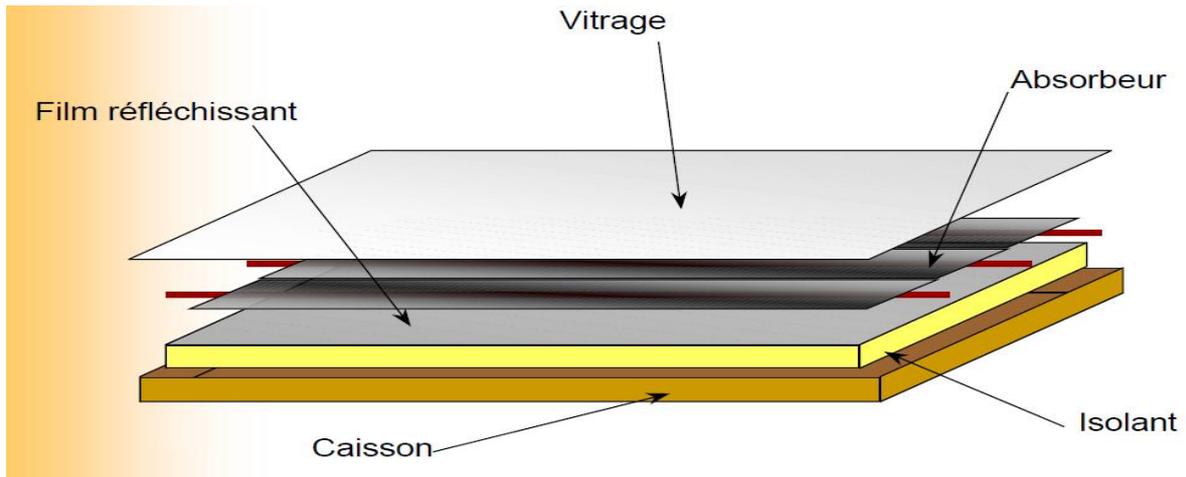


Figure 6 : Capteurs solaire plan vitré.[11]

### **5.2.2. Capteur plan non vitré :**

Nettement moins répandu que le capteur vitré, il est constitué d'un absorbeur sans caisse ni vitrage, ce qui simplifie la fabrication et le coût de fabrication. C'est un capteur qui par contre, est très dépendant de la température de l'air. Performant en été, il présente une grande sensibilité au vent froid en hiver par son absence de vitrage.[11]

Il faut prévoir en général, une fois et demi plus de surface de capteurs pour égaler la production de capteurs plans vitrés. On arrive finalement à un prix unitaire de l'installation équivalent avec le capteur vitré.[11]



Figure 7 : Capteur solaire plan non vitré.[11]

### 5.2.3. Capteurs solaires à tubes sous vide :

Il est constitué d'une série de tubes transparents sous vide qui isolent l'absorbeur. On fait le vide dans ces tubes, comme dans les bouteilles isothermes afin de réduire les déperditions de chaleur par convection et par conduction thermique. L'intensité du vide est d'une importance décisive pour l'interruption du mécanisme de transfert de chaleur. Il peut être rempli de gaz inerte, et certains de xénon, afin de réaliser une réduction significative du coefficient de déperdition.[11]

Ce type de capteurs réagit avec moins d'inertie que les capteurs conventionnels. Ils s'échauffent plus rapidement, ils permettent de mieux tirer parti des petites périodes d'ensoleillement, ils permettent de mieux profiter de l'éclairement du soleil du matin et du soir. Comme les capteurs à tubes sous vide peuvent atteindre des températures extrêmes de plus de 150° C, le fluide caloporteur est spécialement développé pour ce genre d'installation. La tuyauterie du circuit voyant passer le fluide à plus de 150° C, les tubes en cuivre ne doivent pas être soudés à l'étain.[11]

Les capteurs sous vide sont bien adaptés aux applications requérant la fourniture d'énergie à des températures moyennes ou hautes (eau chaude domestique, chauffage de locaux et applications de chauffage industriel dans des gammes de températures de 60 °C à 80 °C, selon la température extérieure), en particulier dans les climats froids.[11]

Les déperditions étant réduites par rapport à celles d'un capteur plan vitré, le rendement est nettement supérieur.[11]

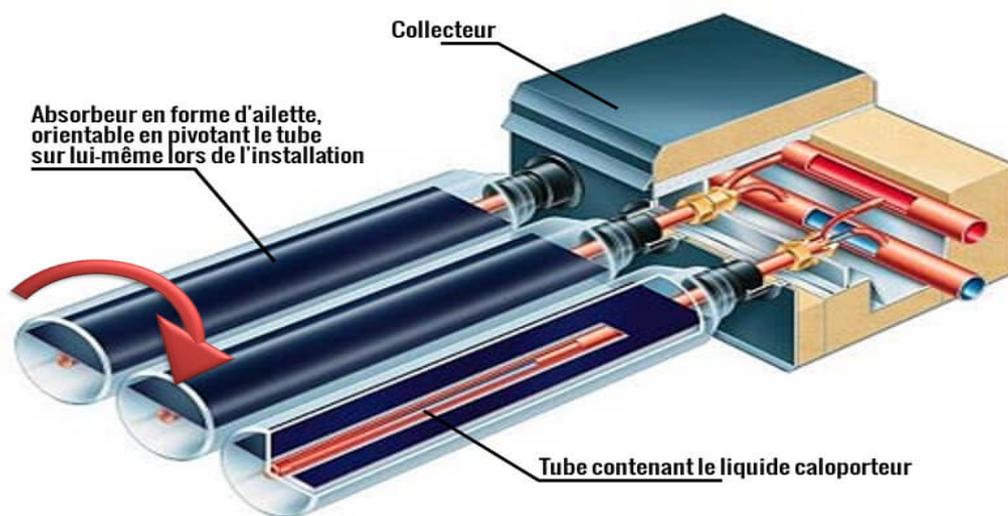


Figure 8 : Capteur solaire a tube sous vide.[11]

### **5.2.4.L'énergie solaire a concentration (thermodynamique) :**

Les différents types de centrales thermodynamiques :

### **5.2.5.Les centrales solaires cylindro-paraboliques :**

Un collecteur cylindro-parabolique est un capteur solaire à foyer linéaire, fondamentalement composé d'un concentrateur en forme de cuvette parabolique qui reflète le rayonnement solaire direct sur un tube récepteur situé dans la ligne focale de la parabole (Figure 9 : Capteur cylindro-parabolique.). L'ouverture du capteur reflète le rayonnement solaire sur une surface plus petite du tube du récepteur, chauffant le fluide qui y circule.[12]

Le rayonnement solaire est ainsi transformé en énergie thermique sous forme de chaleur qui peut atteindre la chaleur latente du fluide. Cette énergie thermique peut alors être employée pour alimenter des processus industriels en énergie thermique indispensable (par exemple, l'industrie alimentaire, industrie pétrochimique, etc.) ou par des cycles de Rankine pour produire l'électricité avec une turbine à vapeur dans une centrale thermique solaire.[12]

Les capteurs cylindro-paraboliques peuvent fournir aujourd'hui l'énergie thermique utile jusqu'à 398°C. La limitation principale de la température maximale est imposée par l'huile thermique actuellement utilisée comme fluide de fonctionnement, parce qu'elle se dégrade rapidement au-dessus de 398°C. Cependant, la recherche en nouveaux fluides promet les températures plus élevées près de 500°C au moyen terme.[12]



Figure 9 : Capteur cylindro-parabolique.[12]

### a. Centrales solaires de linéaire de Fresnel :

Le concentrateur à Réflecteur Linéaire de Fresnel (concentrateur LFR) est généralement composé :

Du réflecteur ou miroir de Fresnel : plusieurs bandes de miroirs réfléchissent et concentrent le rayonnement sur le récepteur.[13]

Du récepteur : positionné au-dessus du miroir de Fresnel pour intercepter le rayonnement concentré. La conception du récepteur peut varier. Il est souvent composé d'un réflecteur secondaire, qui concentre encore avec un facteur de 1 à 3 le rayonnement. Il permet de réduire la surface de l'absorbeur, ce qui limite les pertes, par rapport aux performances à concentration avec miroir de Fresnel. Il peut aussi contribuer à l'homogénéité du flux de puissance collecté sur l'élément absorbeur. [13]

D'un élément absorbeur souvent un tube, mais parfois, plusieurs tubes, voire une surface plane. Cet élément joue le rôle d'échangeur : le fluide caloporteur collecte l'énergie du rayonnement sous forme d'énergie thermique( Figure 10). [13]

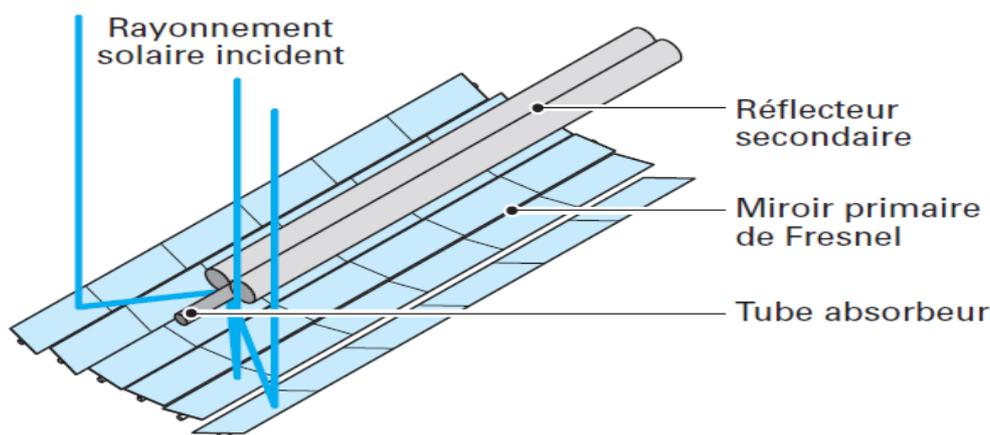


Figure 10 : Schéma de principe d'un capteur linéaire de Fresnel. [13]

Leur concept est simple et facile par rapport aux autres capteurs solaires à concentration de la même famille, sont formée à effet de concentration. Ce système met en œuvre des miroirs plans, des fois ils sont très légèrement incurvés, disposés en lamelles parallèles qui s'inclinent par rotation de manière à éclairer un récepteur fixe. Avec une performance optique diminuée de 30ou 40% par rapport aux capteurs solaires cylindro-paraboliques.[14]

### 5.2.6. Centrales solaires paraboliques (Dish) :

La filière parabolique est un peu la filière de référence car elle met en œuvre la meilleure surface de réflexion possible : une parabole de révolution (tous les rayons solaires incidents convergent après réflexion en un seul point (foyer)).[15]

Les Dish Stirling sont des systèmes paraboles Stirling. La production d'électricité a lieu directement au foyer de la parabole par un moteur Stirling. Ce sont des concentrateurs en exploitation depuis plusieurs décennies (on peut considérer qu'un concentrateur de 10 m de diamètre peut fournir jusqu'à 25 KW d'électricité sous une insolation de 1000 W/m<sup>2</sup>).[15]

En raison de leur caractère modulaire, ces paraboles peuvent répondre à des besoins isolés de production électrique, mais également à des projets de grande échelle pour la distribution d'électricité via le réseau lorsque des milliers de paraboles sont regroupées sur un même terrain. Plusieurs installations de petite taille sont déjà opérationnelles. Ces systèmes sont flexibles en termes de capacité et de déploiement. [15]

Depuis 30 ans de nombreux prototypes ont vu le jour, l'objet principal a été d'augmenter les performances et de diminuer les coûts.[15]

Des capteurs parabolique "Euro-dish" développé sur la Plate-forme solaire d'Almeria en Espagne sont en cours d'essais sur plusieurs sites en Europe. [15]

Un capteur parabolique "Dish-Stirling" est développé par Stirling Energy Systems (SES) à Phoenix, Arizona. Six protos Dish Stirling de SES sont testés (25 000 heures) au SNLab d "Albuquerque : 29,4 % d'efficacité nominale, 95 % de disponibilité. [15]

Cette unité solaire avec une puissance de 25 kW est l'aboutissement d'une vingtaine années de recherche et développement, modèle commercialisé en 2004. [15]

A l'échelle industrielle deux centrales solaires regroupant 32000 paraboles Stirling, pour un total de 1,4 GW sont actuellement fonctionnelle aux Etats-Unis (Californie, réalisation Stirling Energy System). Cette puissance est comparable à celles des centrales nucléaires.[15]



Figure 11 : Capteurs solaires paraboliques. [15]

### 5.2.7. Centrale solaire à tour (la tour solaire ou le four solaire) :

Un système central à tour se compose d'héliostats, qui sont espacés dans un domaine pour éviter l'interférence mécanique ou optique entre eux pendant qu'ils pivotent pour refléter la lumière du soleil directe sur un récepteur élevé ou un réflecteur secondaire. Le récepteur est conçu pour arrêter effectivement la lumière du soleil entrante concentrée et l'absorber comme chaleur à une température élevée. Cette énergie est reçue par un fluide caloporteur et stockée en tant qu'énergie thermique, employée pour conduire un générateur électrique, ou utilisée en tant que chaleur de processus. La collection à forte concentration et la haute température qui résulte de la chaleur accumulée sont d'intérêt pour beaucoup d'applications.[16]

La tour solaire a l'avantage que toute la conversion de l'énergie solaire a lieu dans une région fixe simple, c.-à-d., le récepteur (le four). Ceci permet au récepteur d'être fixé, en grande partie évitant le besoin de réseaux de transport d'énergie, et permet un investissement plus rentable conçu pour améliorer l'efficacité et la sophistication du processus de conversion d'énergie. Elles ont été construites le plus souvent comme de grands systèmes simples pour actionner un cycle à vapeur. Un inconvénient universel est que la position fixe du récepteur signifie que les héliostats ne se dirigent pas généralement directement au soleil, de sorte que la quantité de rayonnement solaire rassemblée par unité de superficie de miroir soit réduite en comparaison avec un concentrateur plat (l'effet de cosinus).[16]



Figure 12 : Schéma de principe de principe d'une centrale à tour. [16]

## 6. Le Photovoltaïque :

### 6.1. Principe de fonctionnement :

Il existe différentes techniques permettant la conversion directe de la lumière solaire en électricité, la plus connue est la conversion photovoltaïque effectuée à l'aide de matériaux semi-conducteurs tel que le silicium (Si), le germanium (Ge) le sélénium (Se) ou les composés semi-conducteurs tel que l'arséniure de gallium (GaAs), le tellure de cadmium (CdTe). Les cellules solaires de type GaAs sont très coûteuses dans leur fabrication, leur utilisation est aujourd'hui

## CHAPITRE I : GENERALITE SUR L'ENERGIE SOLAIRE

essentiellement limitée aux applications spatiales. La majorité des cellules photovoltaïques sont fabriquées à partir du silicium cristallin, car il possède la caractéristique d'être non toxique contrairement au cadmium ou au sélénium, en plus, il permet d'atteindre des efficacités de conversion remarquables, il constitue environ 28% de l'écorce terrestre sous forme de composés (silicates, silice), ce qui en fait une source quasi inépuisable.[17]

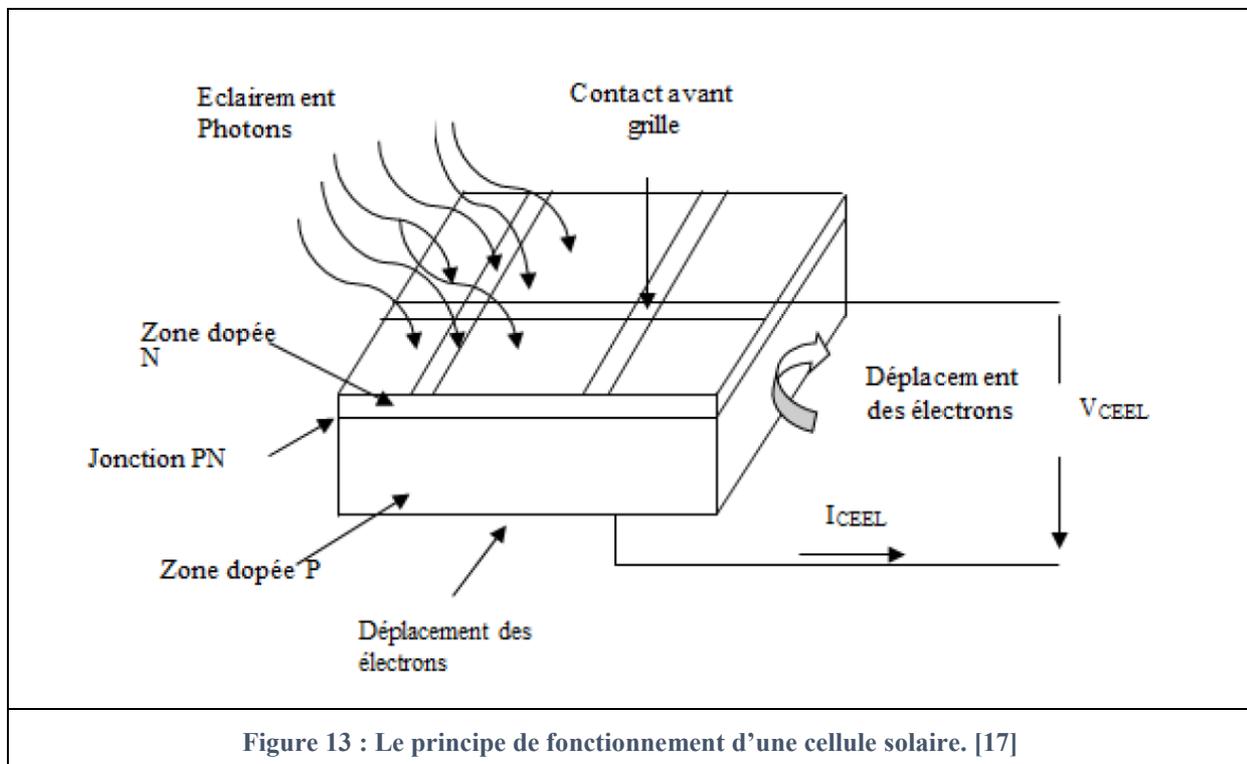
La cellule solaire à semi-conducteur est un dispositif permettant de débiter un courant électrique dans une charge externe lorsque celui-ci est exposé à la lumière. Son principe de fonctionnement se résume comme suit : [17]

Lorsque la cellule est exposée au rayonnement solaire, les photons d'énergie ( $E_{ph} = h\nu$ ) pénétrant dans la cellule solaire transmettent leur énergie aux atomes de la jonction. Si cette énergie est suffisamment élevée, elle peut faire passer les électrons de la bande de valence à la bande de conduction du matériau semi-conducteur et créer ainsi des paires « électron- trou ». [17]

Les électrons (charges N) et les trous (charges P), sont alors maintenus séparés par un champ électrique qui constitue une barrière de potentiel. [17]

Si une charge est placée aux bornes de la cellule, les électrons de la zone N rejoignent les trous de la zone P via la connexion extérieure, donnant naissance à une différence de potentiel et un courant électrique circule. (Figure 13).[17]

Les cellules les plus répandus actuellement sont à base de silicium (différence de potentiel de 0.6 V) [17]



### **6.2. Les différents types des cellules photovoltaïques :**

Il existe différents types de cellules solaires ou cellules photovoltaïques. Chaque type de cellule est caractérisé par un rendement et un coût qui lui sont propres. Cependant, quel que soit le type, le rendement reste assez faible : entre 8 et 23 % de l'énergie que les cellules reçoivent.[17]

Actuellement, il existe trois principaux types de cellules : [17]

#### **a. Les cellules monocristalline:**

Elles ont le meilleur rendement (de 12 à 18% voir jusqu'à 24.7 % en laboratoire). Cependant, elles coûtent trop chers due à leur fabrication complexe. [17]



Figure 14 : cellule monocristalline.[17]

#### **b. Les cellules polycristalline:**

Leur conception est plus facile et leur coût de fabrication est moins important. Cependant leur rendement est plus faible : de 11% à 15% jusqu'à 19.8% en laboratoire). [17]

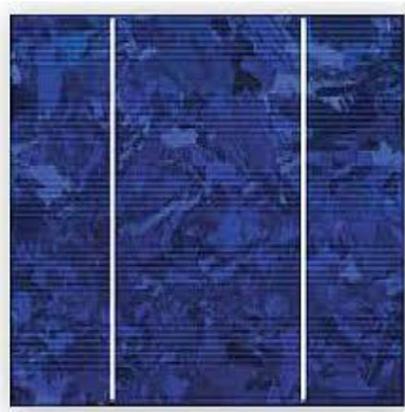


Figure 15 : cellule polycristalline. [17]

### c. Les cellules amorphe:

Elles ont un faible rendement (5% à 8%, 13% en laboratoire), mais ne nécessitent que de très faibles épaisseurs de silicium et ont un coût peu élevé. Elles sont utilisées couramment dans de petits produits de consommation telle que des calculatrices solaires ou encore des montres. L'avantage de ce dernier type est le fonctionnement avec un éclairage faible (Même par temps couvert ou à l'intérieur d'un bâtiment). [17]



Figure 16 : cellules amorphes. [17]

### 6.3. Générateur photovoltaïque :

Le générateur photovoltaïque est un ensemble d'équipements mis en place pour exploiter l'énergie photovoltaïque afin de satisfaire les besoins en charge. En fonction de la puissance désirée, les modules peuvent être assemblés en panneaux pour constituer un champ photovoltaïque. Relié au récepteur sans autres éléments, le panneau solaire fonctionne au fil du soleil, c'est-à-dire que la puissance électrique fournie au récepteur est fonction de la puissance d'ensoleillement. Elle est donc à son maximum lorsque le soleil est au zénith et est nulle la nuit. [17]

Mais, très souvent, les besoins en électricité ne correspondent pas aux heures d'ensoleillement et nécessitent une intensité régulière (éclairage ou alimentation). On équipe alors le système de batteries qui permettent de stocker l'électricité et de la restituer en temps voulu. [17]

Un régulateur est alors indispensable pour protéger les batteries contre les surcharges ou les décharges profondes nocives à sa durée de vie. [17]

# **CHAPITRE II :**

---

## **LES CHAUFFE-EAU SOLAIRE**

---

### **1.Introduction :**

Avec la croissance de la demande en énergie et dans le but de réduire les émissions de gaz à effet de serre notamment le CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère, en plus avec un gisement solaire dépassant les 3000h d'ensoleillement par an, l'Algérie est un pays potentiellement intéressant pour l'exploitation de l'énergie solaire. Il dispose en effet sur un territoire d'un gisement solaire considérable.

Il est donc du plus grand intérêt pour un pays comme l'Algérie de pouvoir estimer les potentialités offertes par un tel type d'énergie et d'identifier les moyens de s'en servir et l'intégrer dans la stratégie de la politique énergétique du pays.

Une des applications les plus intéressantes de l'énergie solaire, et le chauffage de l'eau solaire, il est actuellement l'application la plus rentable de cette énergie et donc celle qui a la plus grande chance de se développer à court terme.

### **2.Définition de chauffe-eau solaire :**

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

Généralement, il se compose d'un réservoir de stockage de l'eau chaude, d'un panneau solaire thermique installé sur un plan, d'une régulateur électrique, relié entre eux avec une pompe qui permet de transporter l'énergie solaire entre le réservoir et le capteur.[18]

Ce type de chauffage permet habituellement de compléter les types de chauffage de l'eau exploitant d'autres sources énergétiques (électricité, énergies fossiles, biomasse, ...) dans certaines conditions il permet de les remplacer totalement. L'énergie solaire étant parfaitement renouvelable, ce remplacement permet de limiter efficacement les émissions de gaz à effet de serre ou la production de déchets nucléaires.[19]

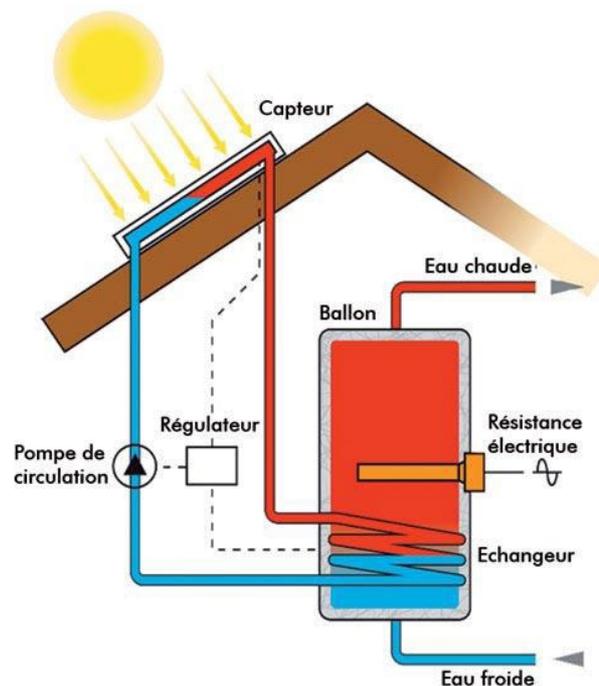


Figure 17: schéma d'un chauffe-eau solaire.[18]

### **3. Les types de chauffe-eau solaire :**

Il y a trois (3) types des chauffe-eaux solaires, le troisième est Un système combiné des deux premiers :[20]

- Chauffe-eau solaires thermique.
- Chauffe-eau solaires photovoltaïques.
- Chauffe-eau solaires hybrides (photovoltaïques / thermique).

#### **3.1. Chauffe-eau solaires thermique :**

Il existe trois modèles de chauffe-eau solaire :[20]

- Le chauffe-eau solaire monobloc.
- Le chauffe-eau solaire à éléments séparés à circulation naturelle.
- Le chauffe-eau solaire à éléments séparés à circulation forcée.

##### **3.1.1. Chauffe-eau solaire monobloc :**

Les Capteurs et le ballon sont groupés sur un même châssis rigide et placés à l'extérieur. Ils peuvent être installés en toiture, sur terrasse ou au sol et fonctionnent sans électricité. Ce système est simple et peu coûteux. Mais le ballon se refroidit plus rapidement, même s'il est bien isolé.[21]

Ce chauffe-eau est compact et bien adapté à la pose sur supports inclinés.[21]

C'est chauffe-eau à circulation naturelle, nommé thermosiphon.

Thermosiphon veut dire que la circulation de la chaleur passe des capteurs au ballon naturellement sans pompe ou autre dispositif, grâce à la différence de température. Pour ce faire, le ballon doit impérativement être placé plus haut que les capteurs.[21]

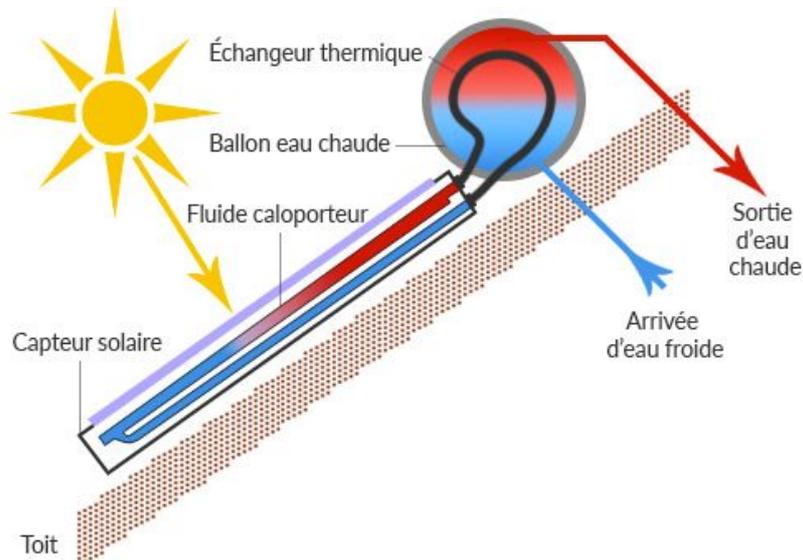


Figure 18: Schéma de fonctionnement d'un chauffe-eau monobloc.[22]

### 3.1.2. Le chauffe-eau solaire à éléments séparés à circulation naturelle :

Le chauffe-eau à éléments séparés à circulation naturelle (thermosiphon-sans calculateur ni régulateur) fonctionne de la même manière que le chauffe-eau solaire monobloc.[21]

Mais les Capteurs et le ballon sont séparés.[21]

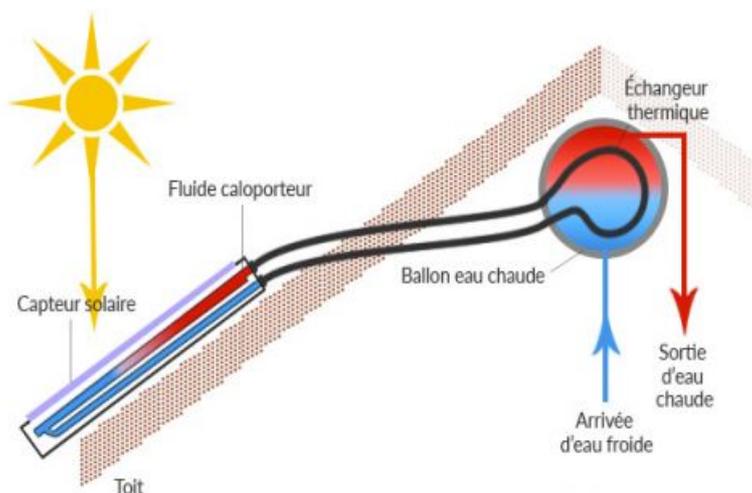


Figure 19: Schéma de fonctionnement d'un thermosiphon séparés.[22]

### **3.1.3. Le chauffe-eau solaire à éléments séparés à circulation forcée :**

Le chauffe-eau solaire à circulation forcée nécessite des équipements supplémentaires : [21]

- Une pompe pour transférer la chaleur des capteurs au ballon (le circulateur).
- Un système de régulation électronique (avec des sondes de température).

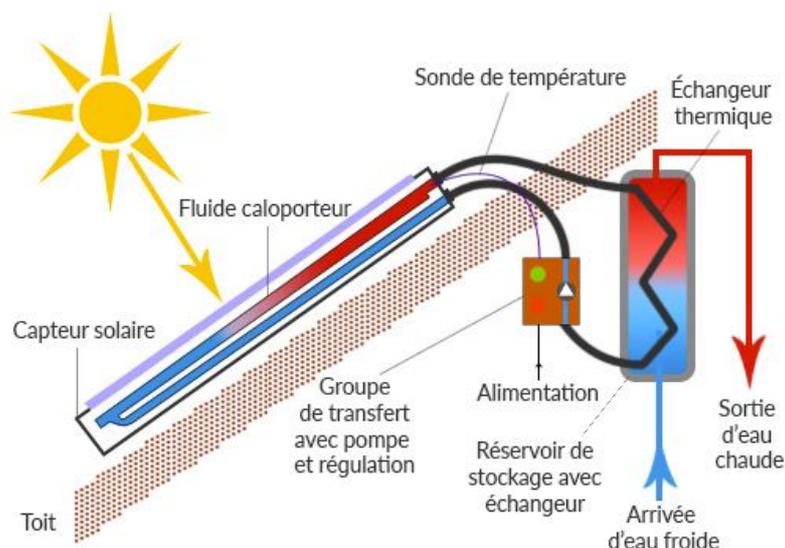


Figure 20 : Schéma de fonctionnement d'un chauffe-eau solaire à circulation forcée. [22]

### **3.2. Les systèmes solaires photovoltaïques :**

C'est-à-dire un boiler électrique (Cumulus), des capteurs photovoltaïques et un boîtier qui dévie automatiquement la production photovoltaïque excédentaire vers le boiler électrique [18]

Les trois genres de systèmes photovoltaïques que l'on rencontre généralement sont :

- Les systèmes autonomes.
- Les systèmes hybrides.
- Les systèmes connectés à un réseau.

#### **3.2.1. Système photovoltaïque isolé, non raccordé (autonome) :**

Les systèmes autonomes dépendent uniquement de l'énergie solaire pour répondre à la demande d'électricité. Ils peuvent comporter des accumulateurs – qui emmagasinent l'énergie produite par les modules au cours de la journée – servant la nuit ou lors des périodes où le rayonnement solaire est insuffisant. Ces systèmes peuvent également répondre aux besoins d'une application (par exemple, le pompage de l'eau) sans recours aux accumulateurs. En règle générale, les systèmes photovoltaïques autonomes sont installés là où ils constituent la source d'énergie électrique la plus économique [18].

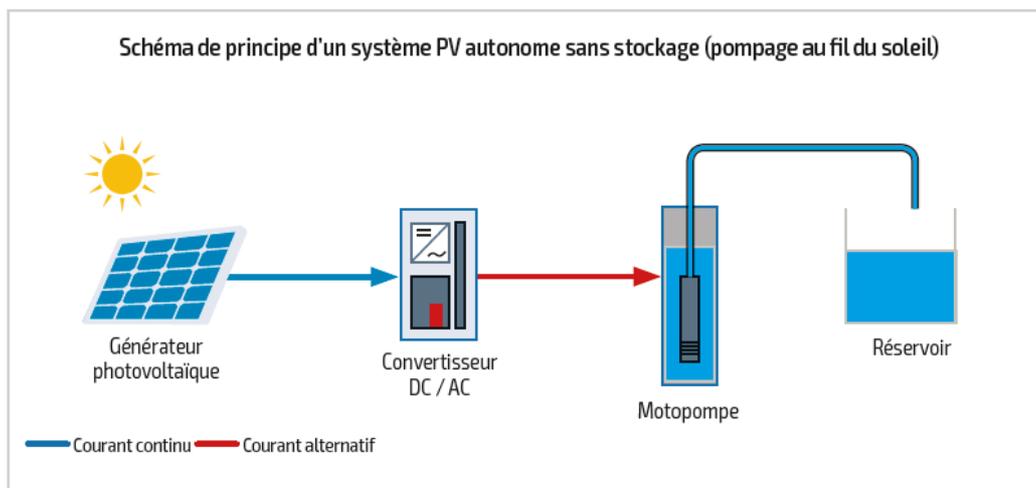


Figure 21: Système photovoltaïque autonome.[18]

### 3.2.2.Système photovoltaïque hybride :

Les systèmes hybrides, qui sont également indépendants des réseaux de distribution d'électricité, sont composés d'un générateur photovoltaïque combiné à une éolienne ou à un groupe électrogène à combustible, ou aux deux à la fois. Un tel système s'avère un bon choix pour les applications qui nécessitent une alimentation continue d'une puissance assez élevée, lorsqu'il n'y a pas assez de lumière solaire à certains moments de l'année, ou si on désire diminuer notre investissement dans les champs de modules photovoltaïques et les batteries d'accumulateurs[18].

### 3.2.3.Système photovoltaïque connecté au réseau :

Les systèmes de production d'énergie photovoltaïque connectés à un réseau sont une résultante de la tendance à la décentralisation du réseau électrique. L'énergie est produite plus près des lieux de consommation – et non pas seulement par de grandes centrales thermiques ou hydroélectriques. Au fil du temps, les systèmes connectés à un réseau réduiront la nécessité d'augmenter la capacité des lignes de transmission et de distribution. Un système connecté à un réseau produit sa propre électricité et achemine son excédent d'énergie vers le réseau, auprès duquel il s'approvisionne au besoin ; ces transferts éliminent le besoin d'acheter et d'entretenir une batterie d'accumulateurs. Il est toujours possible d'utiliser ceux-ci pour servir d'alimentation d'appoint lorsque survient une panne de réseau, mais ce n'est pas nécessaire[18].

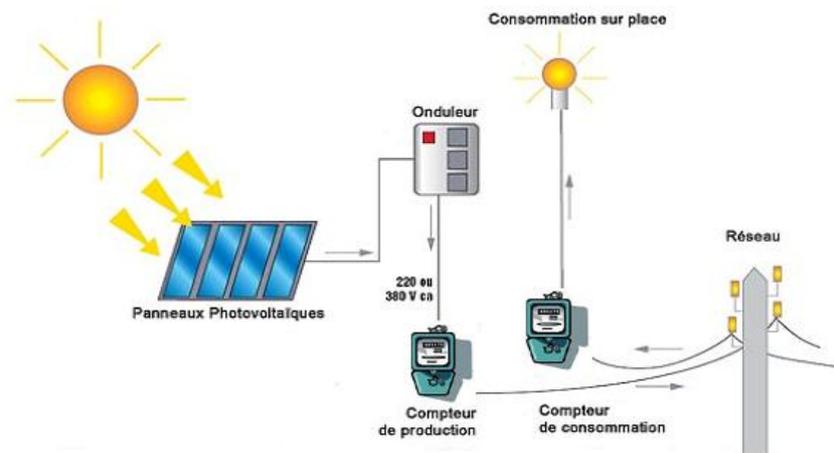


Figure 22: Système photovoltaïque connecté au réseau.[18]

### 3.2.4. Chauffe-eau solaires hybrides (photovoltaïques / thermique) :

Un chauffe-eau solaire hybride photovoltaïque thermique (PV/T) combine deux systèmes solaires différents (thermique et photovoltaïque) en une seule unité. Durant la conversion photovoltaïque du capteur solaire une chaleur est générée ce qui augmentera la température de la cellule photovoltaïque et causera une chute de son rendement. Ce phénomène est dû à la partie du rayonnement solaire non absorbée par les cellules et qui sera à l'origine de son échauffement. Cet échauffement a été considéré comme néfaste pour le rendement des capteurs solaires photovoltaïques et plusieurs efforts ont été consentis pour évacuer cette chaleur. Il y'a eu aussi l'idée d'exploiter ce phénomène par la combinaison du système photovoltaïque avec un système thermique pour former le capteur hybride PVT qui va générer en même temps de l'électricité et de la chaleur pour chauffer l'eau.[23]

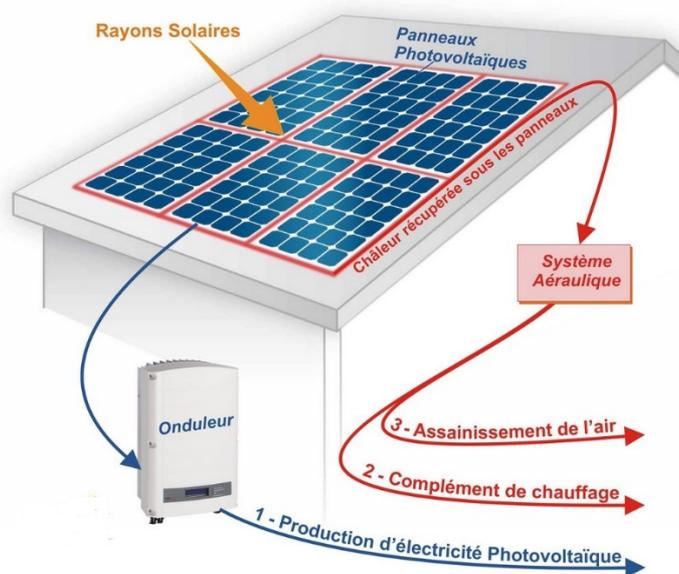


Figure 23 : Chauffe-eau solaires hybrides.

### 4. Chauffe-eau solaire thermique utilisé dans notre cas :

Le chauffe-eau solaire a circulation forcée avec l'utilisation des deux capteurs solaires plans de surfaces totales de  $2.10\text{m}^2$ . Le fluide caloporteur est transmis au ballon de stockage par un circulateur électrique.[24]

- L'échange thermique au niveau du ballon se fait par un échangeur en serpentin.
- L'alimentation électrique est une résistance électrique.
- Le régulateur pour commander la pompe.

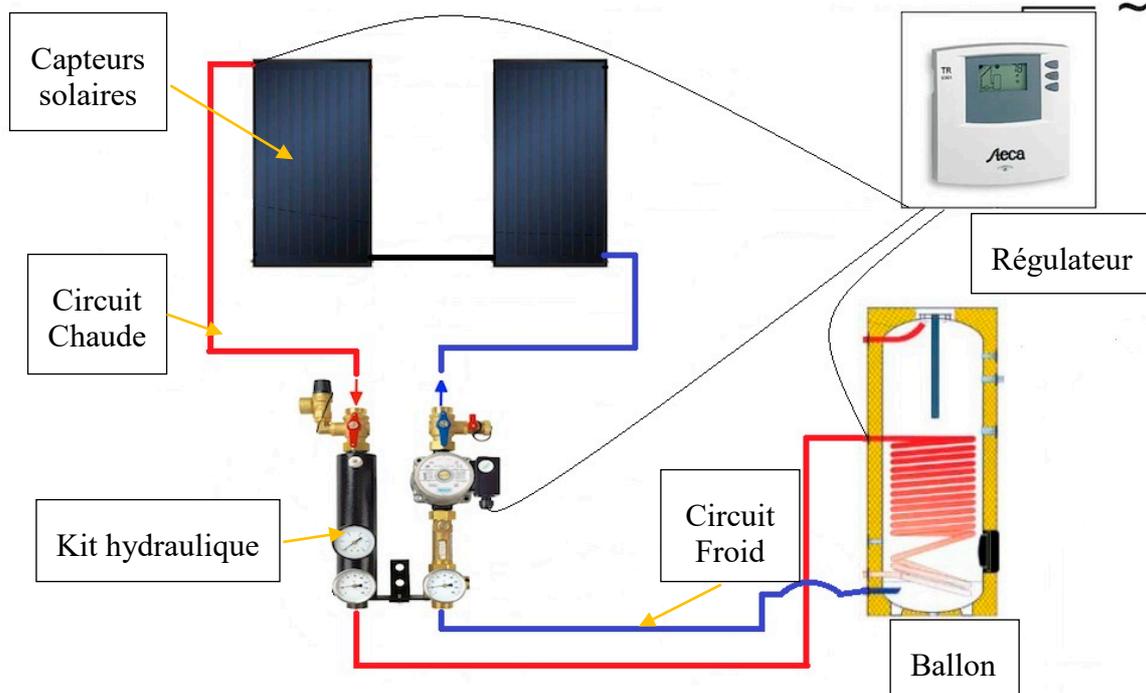


Figure 24 : Le chauffe-eau solaire a circulation forcée.[25]

# **CHAPITRE III :**

---

## **MODELISATION THERMIQUE**

---

### 1.Introduction :

Dans cette partie nous allons utiliser le code TRNSYS 16 afin de simuler un chauffe-eau solaire à circulation forcée.

Le but de ce travail est d'utiliser chauffe-eau pour les conditions météorologiques d'Ain Temouchent afin d'évaluer la production en eau chaude à partir de l'énergie solaire.

### 2.Présentation du logiciel TRNSYS :

TRNSYS (Transient systems simulation program) est un logiciel de simulation de systèmes transitoires qui utilise une structure modulaire. Il est l'un des plus utilisés dans l'exécution de simulations énergétiques thermiques ou électriques. TRNSYS dispose d'une bibliothèque très riche contenant des composants couramment utilisés dans les systèmes thermiques ainsi que des composantes de lecture des fichiers externes comme de fichiers météorologiques ou de fichiers de rendement de machines commerciales. Pour cette raison, TRNSYS s'adapte très bien au comportement réel d'un système au fil du temps en considérant les variations météorologiques. TRNSYS est très utile pour la modélisation des systèmes utilisant des sources d'énergie renouvelables telles que l'énergie solaire, éolienne ou géothermique (University of Wisconsin, 2000).[26]

La conception modulaire et ouverte de TRNSYS, basée sur une définition d'une interface logicielle rigoureuse, a encouragé un grand nombre d'équipe de recherche à intégrer des composants dans cette structure d'accueil d'où la bibliothèque STEC. Ces composants sont ensuite directement utilisables et connectables avec tous les composants existants. Ainsi, de nombreuses collaborations multidisciplinaires ont été réalisées grâce à cette infrastructure.[26]

Quelques 50 familles de composants, disponibles en standard dans une bibliothèque, permettent de simuler, en régime transitoire, les bâtiments (mono ou multizones), les systèmes de chauffage et de climatisation, les plus simples comme les plus complexes, y compris les systèmes solaires innovants.[26]

De nombreuses bibliothèques de modèles TRNSYS sont aujourd'hui disponibles dans le domaine public, couvrant un large spectre d'applications (énergie solaire, éoliennes, hydraulique, microcontrôleurs, photovoltaïque, piles à combustibles, piscines, plafond rayonnant, planchers chauffants, pompes à chaleur, régulation, stockage d'énergie intersaison, systèmes de climatisation, thermique du bâtiment, tours de refroidissements, turbines à gaz et à vapeur, matériaux à changement de phase, ...). Ces bibliothèques peuvent être connectées pour effectuer des études pluridisciplinaires.[26]

TRNSYS utilise dans la modélisation des composants appelés « Types ». Les valeurs initiales pour le calcul sont entrées comme « inputs » et les résultats sont obtenus comme « outputs ». Lorsqu'un composant est connecté à un autre, les résultats du premier sont les données initiales du second et ainsi de suite.[26]

### Ses avantages sont :

Approche modulaire, il est extrêmement flexible pour modéliser un ensemble de système thermique à différents niveaux de complexité (modules avec procédures de calcul plus ou moins élaborées).[26]

L'accès au code source aux utilisateurs de modifier ou d'ajouter des composants qui ne figurent pas dans la librairie d'origine.[26]

Documentation vaste sur les sous-programmes y compris explications, usages usuels, équations de base.[26]

Définition très souple de la période de simulation: choix du pas de temps, du début et de la fin de la simulation.[26]

### 3.Modélisation et simulation des différents sous système du cycle :

#### 3.1.Champ solaire :

Pour la simulation du champ solaire, nous avons utilisé les composants ou les types suivantes.

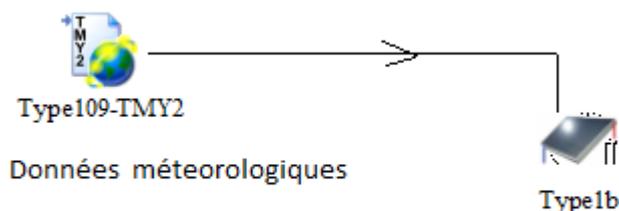


Figure 25 : Champ solaire.

- **Data reader TMY 2 (Type 109) :** permet la lecture des données météorologiques d'un site.



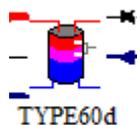
- **Capteur solaire plan Type 1b**



Paramètres	Valeur	Unité
Nombre en série	2	-
Surface d'absorption du collecteur	3.95	m <sup>2</sup>
Chaleur spécifique au fluide	3.708	kJkg <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>
Débit testé	80	kghr <sup>-1</sup> m <sup>-1</sup>
Efficacité d'interception	0.776	-
Coefficient d'efficacité de premier ordre	14.22	kJhr <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup>
Coefficient d'efficacité de second ordre	0.0594	kJhr <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup> K <sup>-2</sup>
Débit maximum	212	kghr <sup>-1</sup>
Pente du collecteur Degrés	53	Degrees
Emittance de la plaque absorbante	0.7	-
Absorbance de la plaque absorbante	0.8	-
Nombre de couvertures	1	-
Indice de réfraction de la couverture	1.526	-
Produit d'épaisseur de coefficient d'extinction	0.28	-

**Tableau 2: Principaux paramètres d'entrée du capteur solaire plan pour la simulation TRNSYS.**

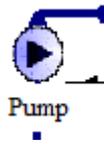
**3.2. Ballon d'eau chaude (ballon de stockage thermique) (Type 60d) :**



Paramètres	Valeur
Positions d'entrée spécifiées par l'utilisateur	2
Volume du réservoir (m <sup>3</sup> )	0.3
Hauteur du réservoir (m)	1.68
Hauteur de l'entrée basse 1 (m)	0.2
Hauteur sortie basse 1 (m)	1.6
Chaleur spécifique au fluide (kJkg <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> )	4.19
Densité de fluide (kgm <sup>-3</sup> )	1000
Coefficient de perte de la citerne (Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> )	0.3
Conductivité thermique du fluide (kJhr <sup>-1</sup> m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> )	1.4
Température d'ébullition (C)	100
Hauteur du 1er chauffage d'appoint (m)	1
Hauteur du 1 er thermostat (m)	1.5
Température de consigne pour l'élément 1 (C)	60
Bande morte pour l'élément chauffant 1 (C)	5
Vitesse de chauffage maximale de l'élément 1 (kJhr <sup>-1</sup> )	9900
Fraction de glycol	0.4
Diamètre intérieur de l'échangeur thermique (m)	0.016
Diamètre extérieur de l'échangeur de chaleur (m)	0.02
Diamètre de l'échangeur thermique (m)	0.02
Surface totale de l'échangeur de chaleur (m <sup>2</sup> )	1.4
Longueur de l'échangeur de chaleur (m)	2.0
Conductivité de la paroi de l'échangeur thermique (kJhr <sup>-1</sup> m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> )	1.8
Conductivité du matériau de l'échangeur thermique (kJhr <sup>-1</sup> mK <sup>-1</sup> )	1.8
Hauteur de l'entrée de l'échangeur de chaleur (m)	0.4
Hauteur de sortie de l'échangeur thermique (m)	0.3

Tableau 3 : Paramètres du ballon d'eau chaude (Type 60d).

### 3.3. La pompe :

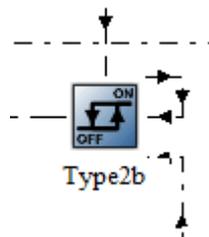


Paramètres	Valeur	Unité
Débit nominal	212	Kg.hr <sup>-1</sup>
Capacité thermique spécifique du fluide	3.708	kJ.kg <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>
Puissance nominale	226.8	kJ.hr <sup>-1</sup>

Tableau 4 : Paramètres d'entrée de la pompe pour la simulation TRNSYS.

### 3.4. Les controleurs :

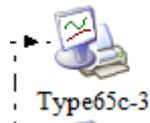
- **Régulateur de température différentielle (Type2b) :**



Paramètres	Valeur
Nb d'oscillations	212
Limite supérieure	3.708
Bande morte supérieure dT	40
Bande morte inférieure dT	1

Tableau 5 : Paramètres d'entrée de régulateur de température différentielle pour la simulation TRNSYS.

- **Le traceur : Type 65c (plotter) :** traceur graphique en ligne avec le fichier de sortie.



Traceur

- **Calculatrice : Type 14 (type14h) :** permet de donner le temp de fonctionnement de la résistance.



TYPE14h

#### 4.L'évolution temporelle des conditions météorologiques d'Ain Temouchent :

Le site choisi pour la simulation est celui de la région d'Ain Témouchent qui caractérisé par ses coordonnées GPS à savoir une **latitude** (35.306 °N) et une **longitude** (-1.147°E).

Ville	Ain Témouchent
Fuseau horaire	GMT1
Élévation	243m
Latitude	35.306 °N
Longitude	-1.147°E
Irradiation normale directe	5.94kwh/m <sup>2</sup> /jour
Rayonnement horizontal global	5.25kwh/m <sup>2</sup> /jour
Température moyenne	18.2 °C
Vitesse du vent	2.3m/s

Tableau 6 : les caractéristiques climatiques de la ville d'Ain Temouchent.

- Les irradiations solaires en Ain Témouchent (irradiations solaires globales, directes et diffuses).

**Figure 26** : illustre la variation annuelle d'irradiation horizontale globale. C'est la quantité totale de rayonnement à ondes courtes reçus par une surface horizontale au sol. Une moyenne annuelle de 97770 W/m<sup>2</sup> / Année GHI est reçu dans cette région. Le GHI maximum est reçu au mois de juin et juillet qui d'ordre 360 w/m<sup>2</sup>. D'autre part, le minimum GHI est reçu au mois de décembre et qui est égal à 145 W/m<sup>2</sup>.

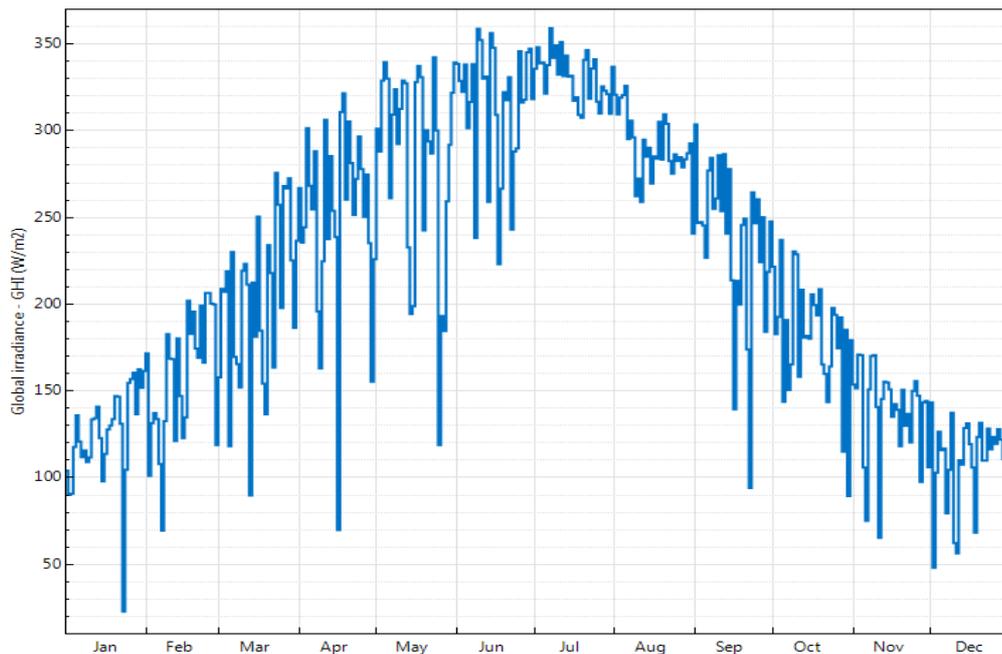
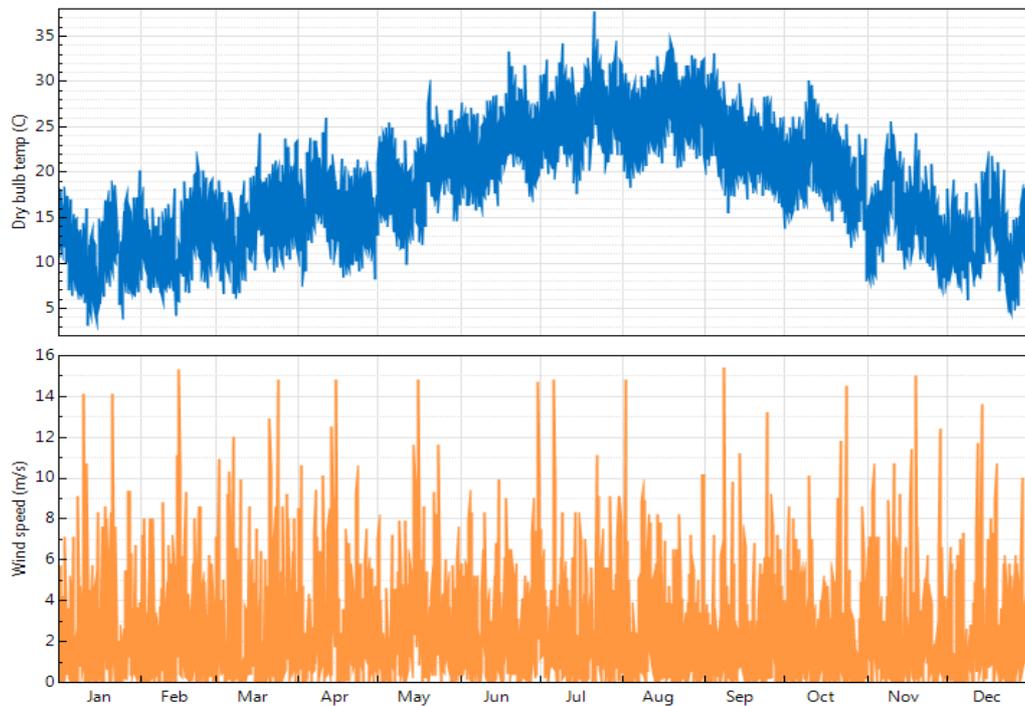


Figure 26 : la variation annuelle de GHI à Ain Témouchent.

### CHAPITRE III : MODELISATION THERMIQUE

**Figure 27 :** Vitesse du vent et température au cours de l'année du site. montre la variation de la température de l'air et la vitesse du vent au cours de l'année pour site choisi. On remarque que la température maximale et minimale enregistrées est respectivement égale 37° C et 1°C.

D'autre part, la vitesse maximale du vent est de 15 m/s.



**Figure 27 :** Vitesse du vent et température au cours de l'année du site.

### 5. Présentation du modèle de l'installation à étudié :

Dans la construction de notre installation sur la plate-forme de TRNSYS on utiliser des différents organes se sont :

TYPE 3b : Pompes

TYPE 65c : Affichage des résultats

TYPE 2b : Système de régulation tout ou rien

TYPE 109TMY2 : Données climatiques

TYPE 1b : Panneau solaire plan

TYPE 60d : Echangeur de chaleur et ballon de stockage

TYPE 14b : Vanne de distribution.

TYPE 14h : Calculatrice.

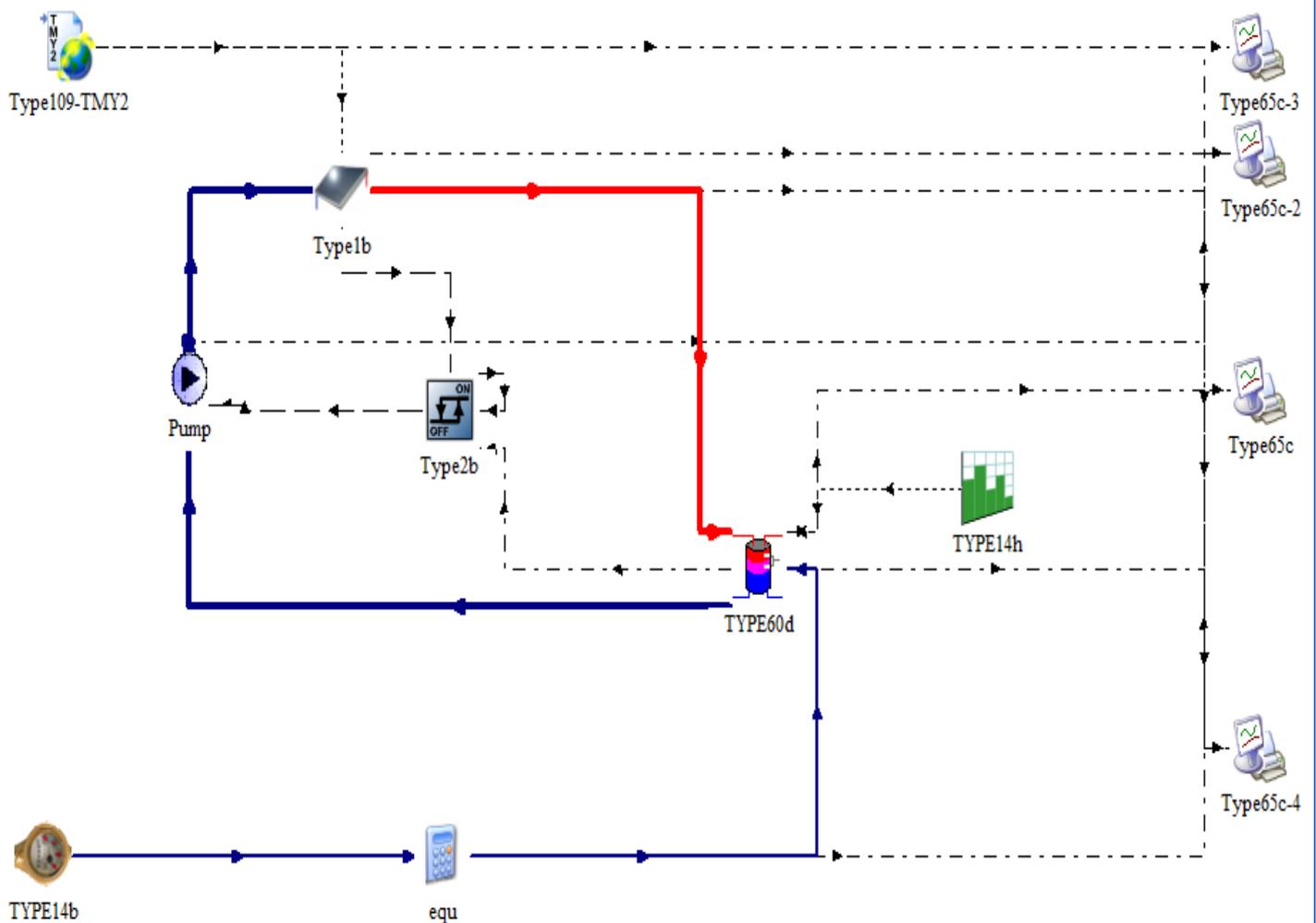


Figure 28 : la boucle de simulation par le logiciel TRNSYS.

## CHAPITRE III : MODELISATION THERMIQUE

Cette installation permet de produire de l'eau chaude, en utilisant l'énergie solaire; l'énergie solaire est employée sous les deux formes de l'énergie solaire à savoir thermique et photovoltaïque. La boucle solaire thermique permet d'alimenter l'installation en eau chaude à une température bien déterminée en général  $60^{\circ}\text{C}$ , pour ce le collecteur solaire thermique capte les rayons de l'énergie solaire et chauffe un fluide caloporteur, ce dernier passe à l'intérieur d'un serpentin et chauffera le liquide stocké dans le ballon.

Ce système de production d'eau chaude sanitaire utilise le capteur solaire qui convertit le rayonnement solaire direct et diffus en chaleur. Le fluide solaire est un mélange d'eau et de glycol. Celui-ci entre dans le collecteur à une température  $T_5$  et à un débit  $m_5$  après absorption de l'énergie solaire, il quitte le capteur à la température  $T_1$  à l'aide d'une pompe actionnée par un contrôleur. Cela permet au fluide solaire de transférer la chaleur captée dans un réservoir d'eau à chauffer via un serpentin (ballon de stockage). Puis le fluide solaire quitte le serpentin à la température  $T_3$ . Ce cycle se poursuit tant qu'il existe une différence de température suffisante entre les températures d'entrée et de sortie du capteur. La chaleur est transférée à l'eau qui entre au réservoir à une température  $T_3$  et au débit  $m_3$  et qui sort pour être utilisé pour les besoins sanitaire à la température

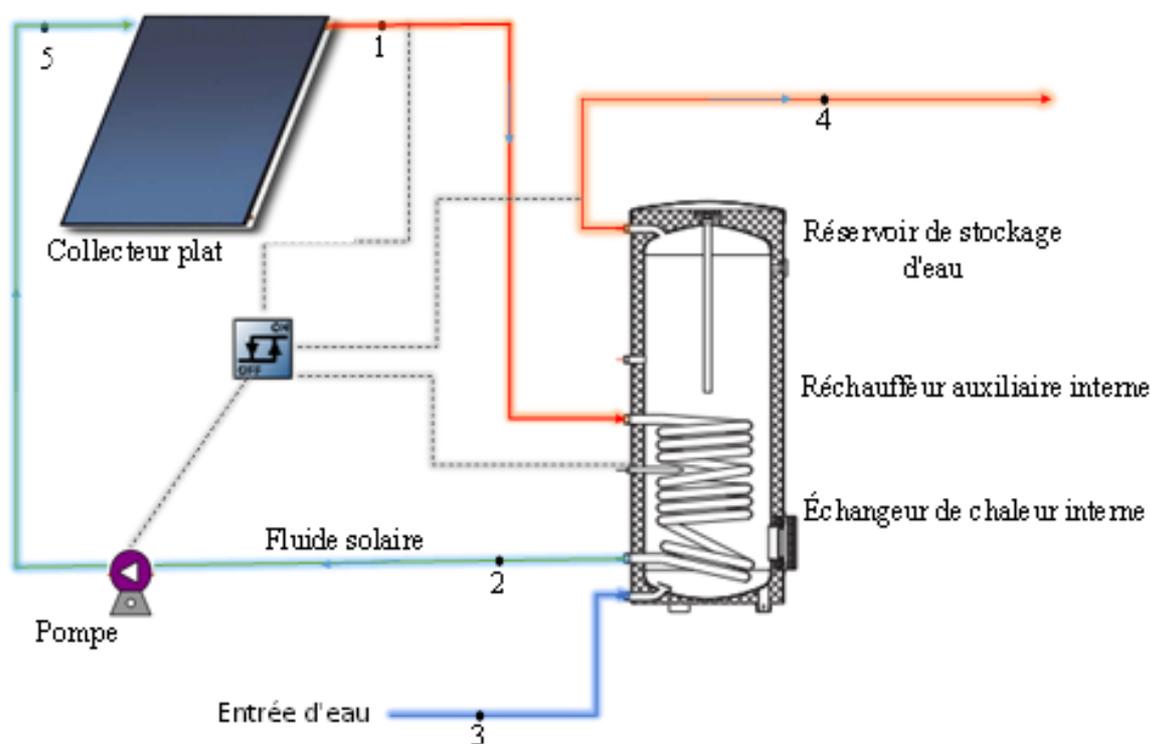
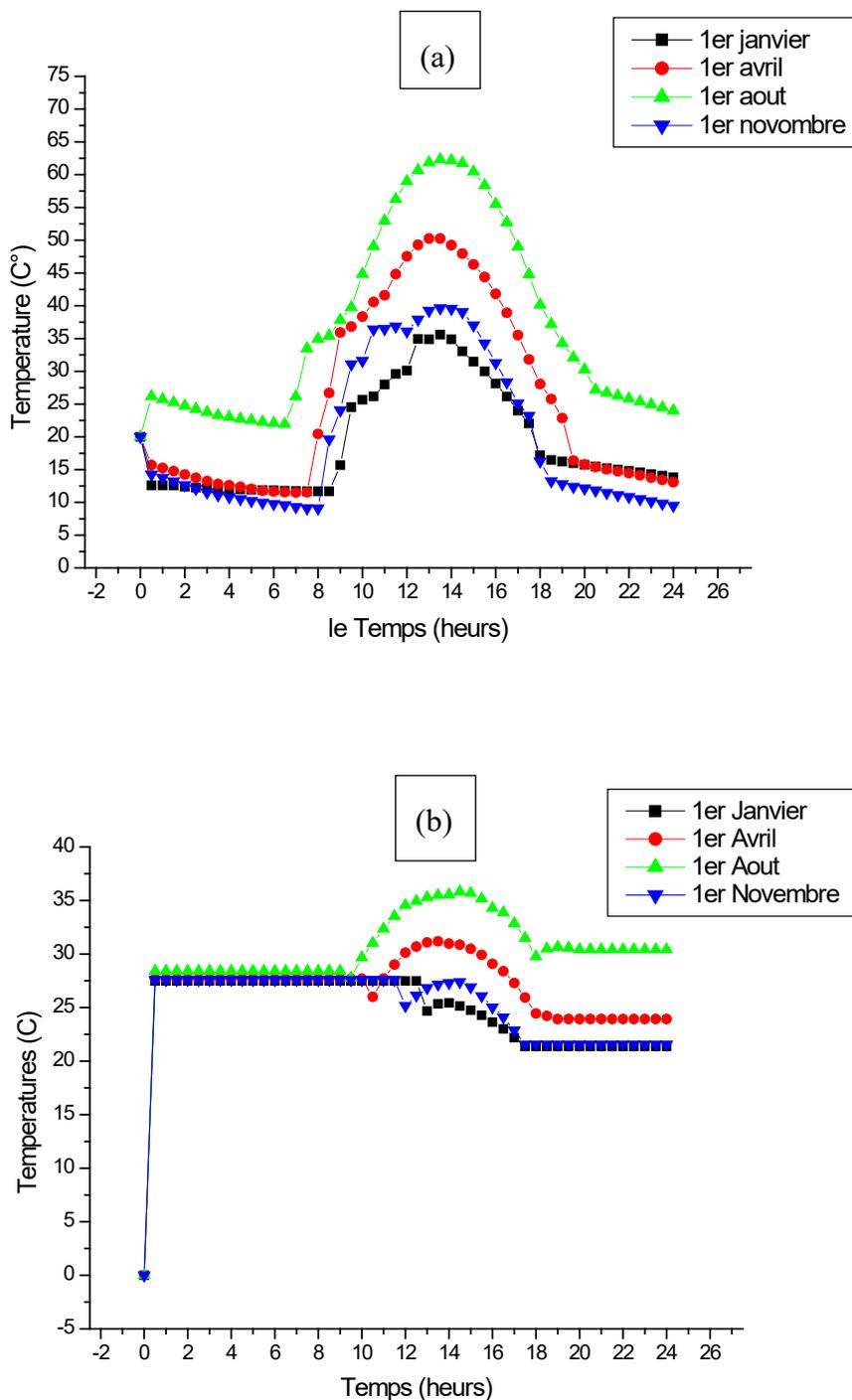


Figure 29 : Schéma du chauffe-eau solaire (1: sortie du fluide solaire du collecteur ; 2 : sortie du fluide solaire du ballon de stockage thermique ; 3 : entrée de l'eau au ballon de stockage ; 4 : sortie de l'eau chaude du Ballon de stockage, 5 : entrée du fluide solaire au collecteur thermique).

**6. Etude du système sans appoint :**

**6.1. Etude de l'évolution de la température pour un système sans appoint :**

**Figure 30 :** décrit l'évolution de la température de sortie du capteur plans (T1) et d'entrée (T2) au pour le cas d'un chauffe-eau solaire sans appoint durant 4 journées types de l'année à savoir : 1<sup>er</sup> janvier ; 1<sup>er</sup> avril ; 1<sup>er</sup> aout et le 1<sup>er</sup> novembre.



**Figure 30 :** Evolution de la température de sortie (T1) et d'entrée (T2) au capteur plan pour le cas d'un chauffe-eau solaire sans appoint.

### CHAPITRE III : MODELISATION THERMIQUE

L'intensité de la radiation solaire augmente d'une façon significative la journée d'Aout par rapport aux autres journées choisies, ce qui induit l'augmentation de cette température à la journée de 1ere aout par rapport aux autres journées.

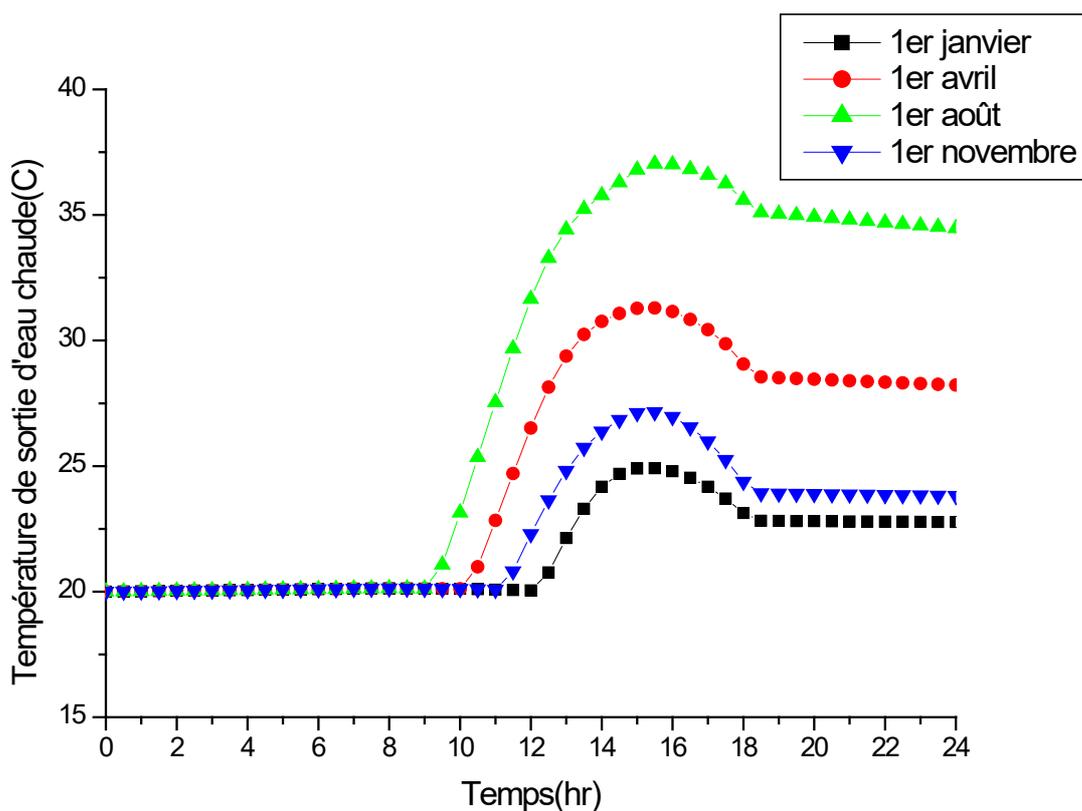
Tandis que la durée de l'élévation de cette température dépend de la saison annuelle et de la durée ensoleillement.

La température (T1) a la valeur maximal 63°C en 1ere Aout à 14h00 et atteint sa valeur minimale en 1<sup>er</sup> janvier égal à 36°C à 14h00.

Le même comportement est signalé pour la température d'entrée au capteur plan (T2) avec des valeurs moins élevées que (T1).

**Figure 31** : illustre l'évolution de la température de la sortie du ballon de stockage thermique (T4) pour le cas d'un chauffe-eau sans appoint durant 4 journées types de l'année (1er janvier ; 1<sup>er</sup> avril ; 1er aout et le 1er novembre).

On remarque un comportement similaire du profile de la température au cours du temps, mais la grandeur de cette température dépend de l'ensellement. Cette température peut atteindre 37°C en Aout et 25 °C en janvier.



**Figure 31** : Evolution de la température de sortie du ballon de stockage thermique (T4) pour le cas d'un chauffe-eau sans appoint.

**6.2. Etude de l'évolution de la chaleur utile pour un système sans appoint :**

**Figure 32** : décrit l'évolution de la chaleur utile produite sous l'effet thermique à partir du collecteur solaire plan au cours de divers journées types de l'année (1er janvier ; 1<sup>er</sup> avril ; 1er aout et le 1er novembre).

L'allure de la chaleur au cours du temps est semblable pour toutes les journées sous investigation, l'ampleur de chaleur recueilliez dépend principalement de l'enseuillement. En ce qui concerne les valeurs maximales au cours de ces journées, il est à signaler que pour le 1er janvier ne dépasse pas 4000 kJ/hr et pour le 1<sup>er</sup> aout 10000 kJ/hr.

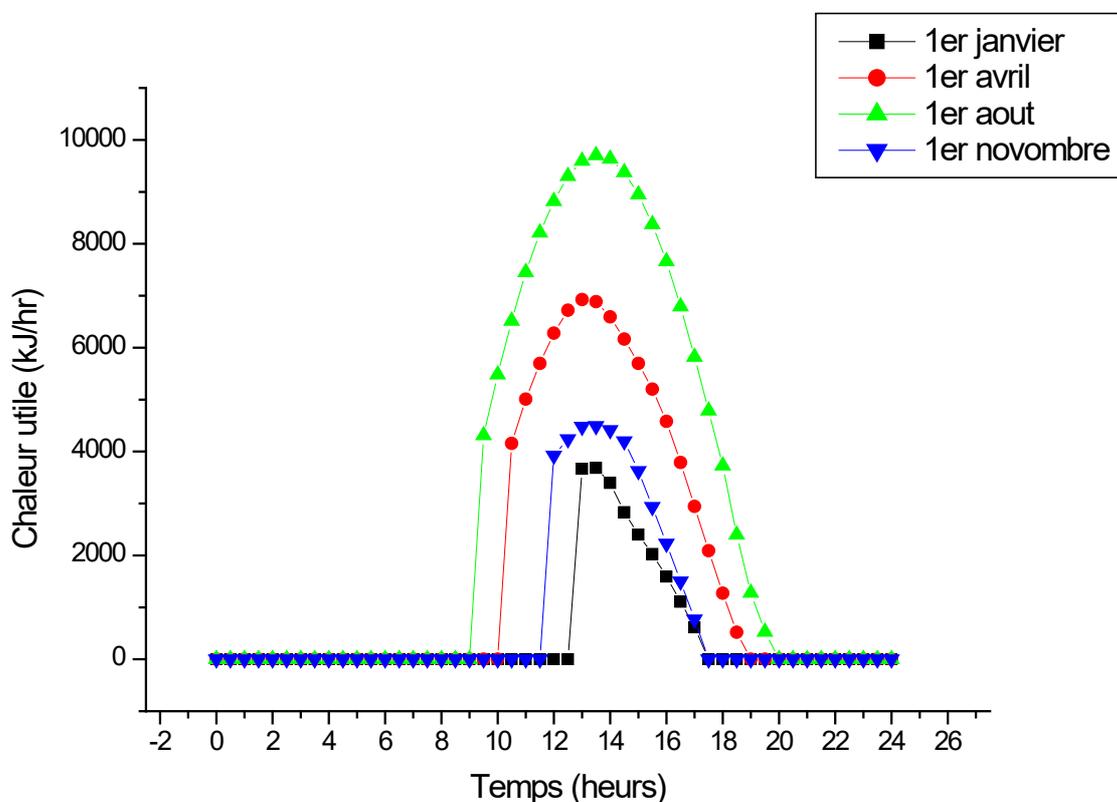
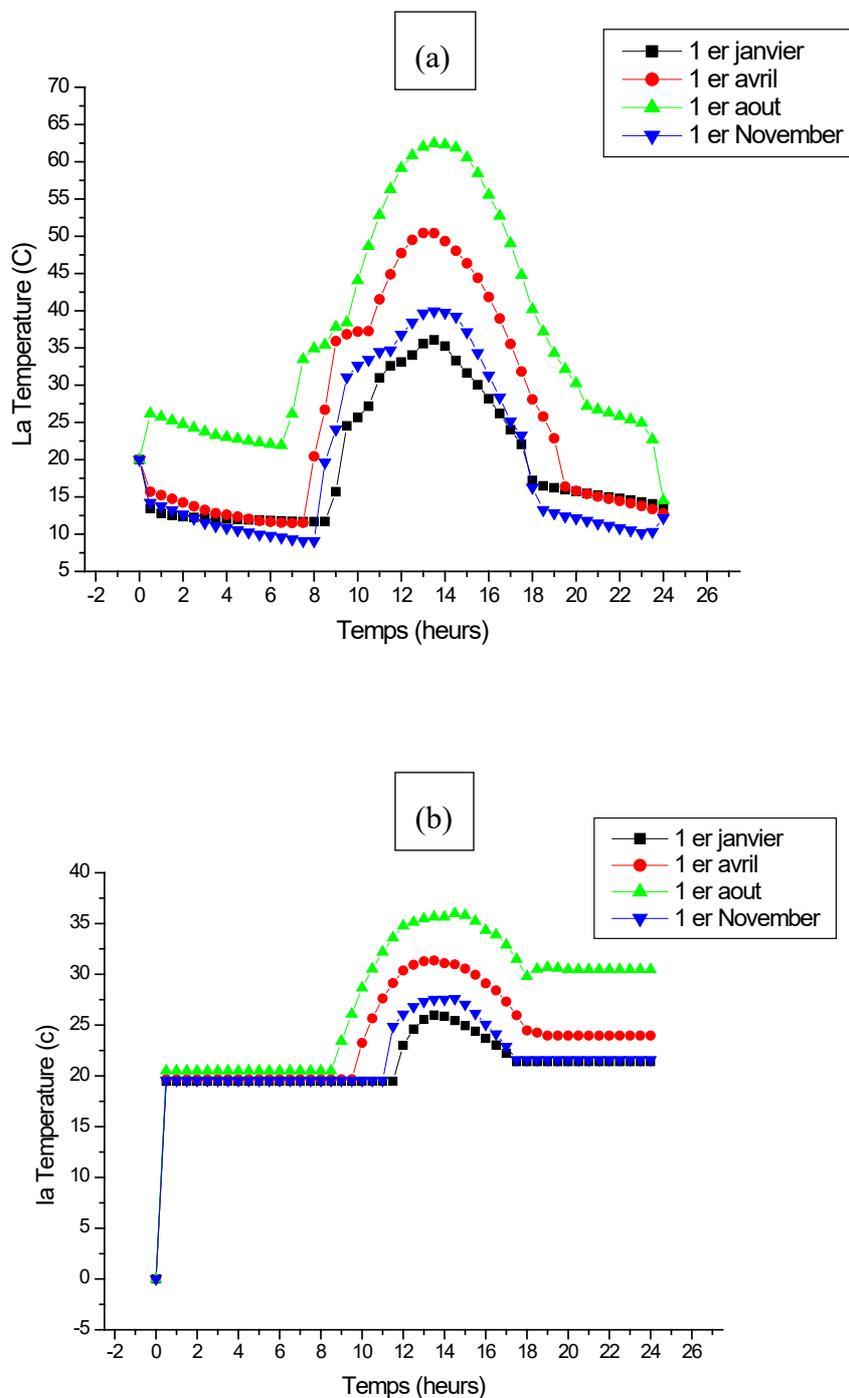


Figure 32 : Evolution de la chaleur utile pour le cas d'un chauffe-eau sans appoint. Respectivement au 1<sup>er</sup> Janvier ; 1<sup>er</sup> Avril ; 1<sup>er</sup> Aout et 1<sup>er</sup> Novembre.

**7. Etude du système avec appoint :**

**7.1. Etude de l'évolution de la température pour un système avec appoint :**

**Figure 33 :** décrit l'évolution des températures T1 et T2 relatives au collecteur solaire plan, au cours de divers journées types de l'année. Ces températures sont similaires avec ceux trouvés précédemment pour le cas sans appoint en allure et en valeur.

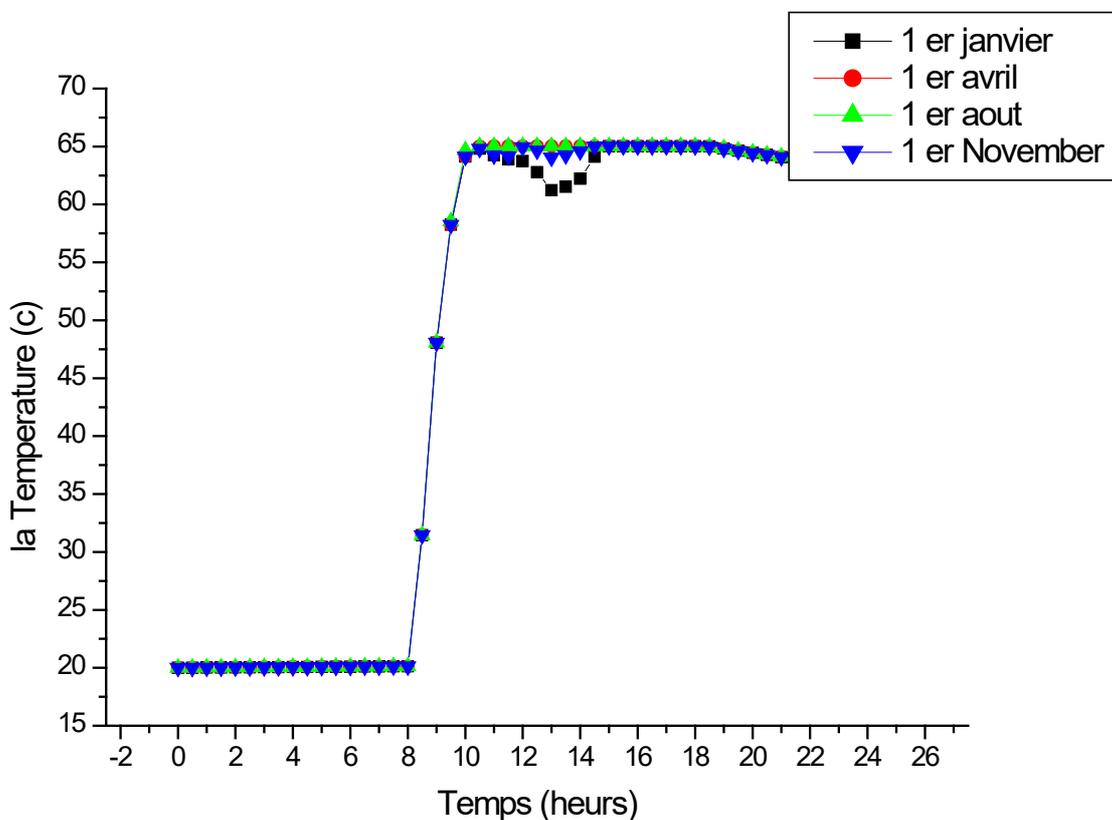


**Figure 33 :** Evolution de la température de sortie (T1) et d'entrée (T2) au capteur plan pour le cas d'un chauffe-eau solaire avec appoint.

### CHAPITRE III : MODELISATION THERMIQUE

**Figure 34** : présente la température de sortie du ballon de stockage thermique T4 pour le cas d'un chauffe-eau avec appoint au cours de cas de 4 journées types de l'année.

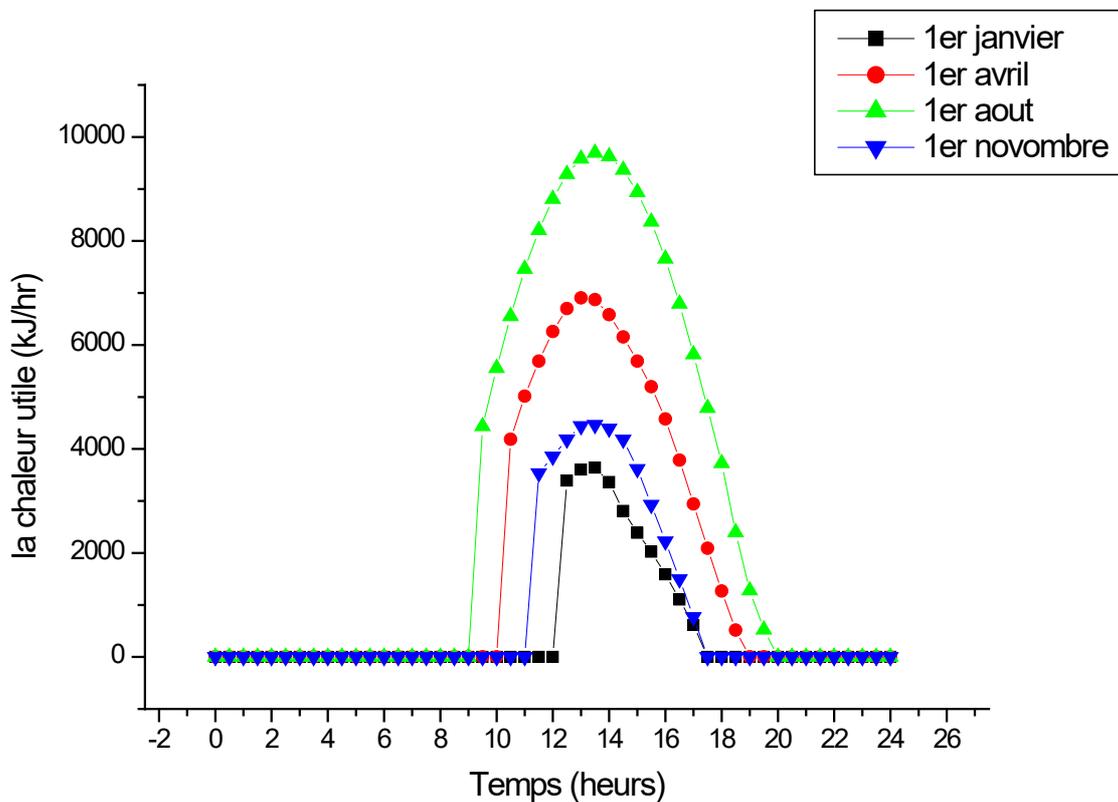
Cette température est maintenue supérieure à 60°C par l'apport en chaleur fournie par une résistance électrique régulée par un système de thermostat.



**Figure 34** : Evolution de la température de sortie du ballon de stockage thermique (T4) pour le cas d'un chauffe-eau avec appoint. Respectivement au 1<sup>er</sup> Janvier ; 1<sup>er</sup> Avril ; 1<sup>er</sup> Aout et 1<sup>er</sup> Novembre.

**7.2. Etude de l'évolution de la chaleur utile pour un système avec appoint :**

**Figure 35 :** représente le profil de la chaleur utile au cours de divers journée type de l'année, comme cette chaleur est produite uniquement sous l'effet de l'apport thermique collecté par le panneau solaire thermique ne diffère guère de celle produite pour le cas sans appoint.

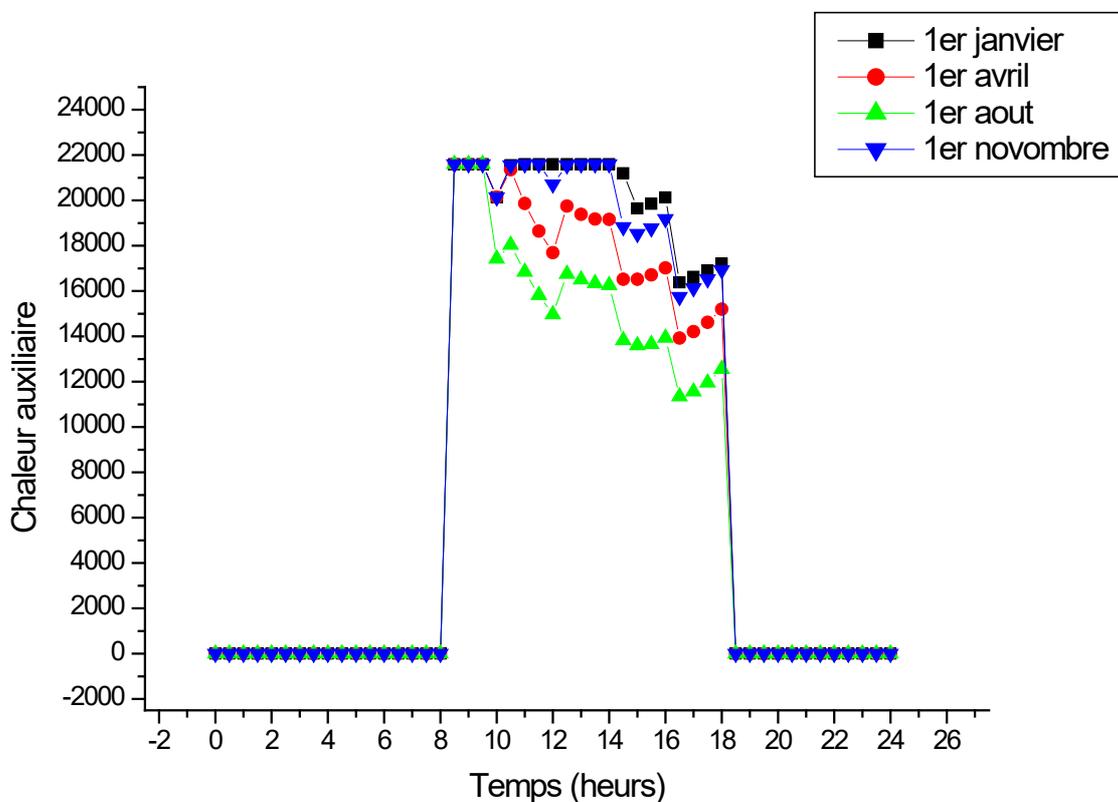


**Figure 35 :** Evolution de la chaleur utile pour le cas d'un chauffe-eau avec appoint. Respectivement au 1<sup>er</sup> Janvier ; 1<sup>er</sup> Avril ; 1<sup>er</sup> Aout et 1<sup>er</sup> Novembre.

**7.3. Etude de l'évolution de la chaleur auxiliaire pour un système avec appoint :**

**Figure 36 :** montre l'évolution de la chaleur auxiliaire produite par la résistance électrique pour compenser le manque en chaleur permettant à l'eau en circulation d'atteindre les températures voulues

$60\text{ }^{\circ}\text{C} \leq T \leq 80\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Ce qui explique l'élévation des valeurs de cette chaleur en janvier en comparaison au mois d'Aout. On voit bien que le mois d'aout demande moins de chaleur auxiliaire, puis le mois d'avril, en 3<sup>ème</sup> lieux mois de novembre et le dernier qui nécessite plus d'appoint est le mois de janvier.



**Figure 36 :** Evolution de la chaleur auxiliaire pour le cas d'un chauffe-eau avec appoint. Respectivement au 1<sup>er</sup> Janvier ; 1<sup>er</sup> Avril ; 1<sup>er</sup> Aout et 1<sup>er</sup> Novembre.

# **CHAPITRE IV :**

---

## **MONTAGE DE CHEUFF-EAU SOLAIRE A CIRCULATION FORCEE**

---

### **1.Introduction :**

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

Autres facteurs tels que la situation géographique, la surface disponible pour l'installation solaire, l'orientation et l'inclinaison des capteurs, le budget, etc. joueront également un rôle important.

Un bon montage doit conduire à produire un maximum d'énergie d'origine solaire entre 50 et 80 % des besoins d'eau chaude sanitaire, entraînant une économie financière, et évitant le rejet de gaz à effet de serre dans l'atmosphère.

### **2.Fonctionnement :**

#### **2.1.Le fonctionnement du chauffe-eau solaire :**

Les chauffe-eaux solaires sont constitués de capteurs solaires plans (1) qui permettent le réchauffement d'un liquide caloporteur lorsque les capteurs sont exposés au rayonnement solaire.

Ce liquide circule à travers un circuit hydraulique jusqu'au ballon de stockage (2), grâce à un circulateur intégré au module hydraulique (3). Le transfert des calories au niveau du ballon est assuré par un échangeur de type serpentin.[24]

Un kit hydraulique (3) branché sur le circuit affiche la température et la pression du liquide caloporteur dans le circuit primaire et contient les organes de sécurité (vannes, clapet et robinets). Un vase d'expansion (4) branché sur le circuit régule les variations de pression du système. Un thermostat différentiel programmable (5) enclenche ou arrête le circulateur lorsque les températures de consigne sont atteintes. Une résistance d'appoint en option, chauffe l'eau du ballon lorsque la production d'énergie solaire n'est pas suffisante.[24]

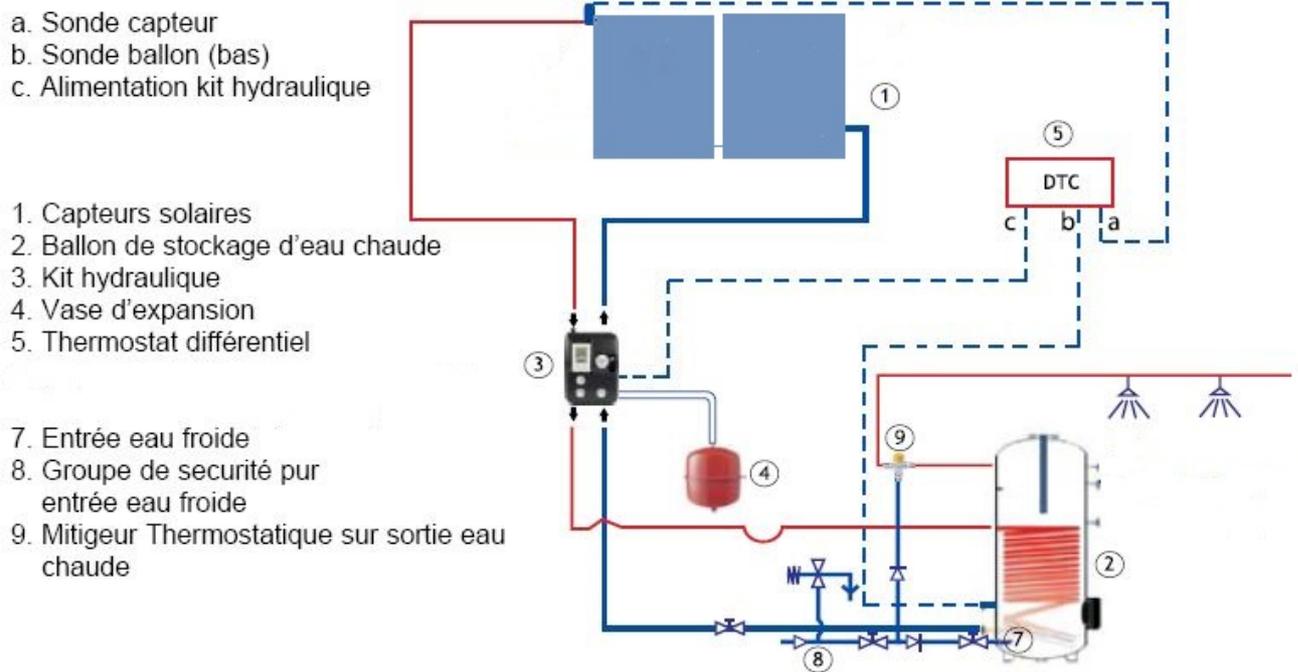


Figure 37:schéma de l'installation.[24]

### 2.1.1.Le circuit hydraulique fermé :

La nature du fluide caloporteur dans le circuit hydraulique fermé est à base de mono propylène glycol et d'inhibiteurs de corrosion, est un fluide caloporteur antigel concentré particulièrement adapté pour les circuits de chauffage central à circulation d'eau, pour la climatisation et pour les chauffe-eaux solaires.

Après sa dilution dans l'eau, le fluide caloporteur permet d'obtenir une excellent protection contre le gel et une protection renforcée contre la corrosion des métaux présents dans les différents circuits de conception ancienne ou récente (acier, aluminium, cuivre, laiton, soudures, etc.).[24]

#### a.Fonctionnement :

Pour la connexion du kit hydraulique avec le circuit fermé (capteurs, échangeur solaire de la partie basse du ballon) se reporter au schéma hydraulique des kits solaires (Figure 37).[24]

La connexion du vase d'expansion avec le groupe de sécurité du kit hydraulique doit avoir une longueur maximale de 2 mètres, sans coudes et sans points hauts de concentration de l'air. [24]

Après l'installation hydraulique, le circuit fermé doit être nettoyé. Le nettoyage du système se fait avec de l'eau pendant 15 min en isolant le circulateur avec les deux vannes qui se

## CHAPITRE IV : MONTAGE CHEUFF-EAU SOLAIRE A CIRCULATION FORCE

trouvent avant et après celui-ci, en ouvrant les deux robinets de remplissage/ vidange du système. [24]

Avant le remplissage du circuit fermé il faut bien vérifier l'étanchéité de toutes les connexions. On peut par exemple au moment du nettoyage fermer l'une des vannes de remplissage / vidange et utiliser une pompe à épreuve pour faire monter la pression à 5 bars pendant 15 min. [24]

**Attention :** le vase d'expansion doit être isolé pour éviter de dépasser la pression maximale de fonctionnement. [24]

Le liquide caloporteur doit être mélangé avant le remplissage et à un taux variable selon la température minimale ambiante (Tableau 10). [29]

Le remplissage du système peut se faire soit depuis la partie haute du capteur, grâce à l'apesanteur, soit à l'aide d'une pompe à épreuve depuis le kit hydraulique. La pression de fonctionnement, entre 1,5 et 3 bars, est obtenue avec la pompe à épreuve. Vérifier plusieurs fois tous les points de purge tout en remplissant avec le liquide.

Toutes les installations et connexions de l'installation doivent être faites selon les règles/normes en vigueur (électriques, hydrauliques, construction etc...) dans le pays / région de l'installation. [24]

Il est recommandé de placer un bac de rétention sous le kit hydraulique pour retenir d'éventuelles fuites d'eau ou de liquide du groupe de sécurité. Ceci sera très utile pendant le remplissage et la purge ou durant les essais hydrauliques car le clapet ouvre à 6 bars.[24]

### **b. Tuyaux du circuit fermé :**

Tous les tuyaux au départ / arrivée des capteurs doivent être bien isolés de façon à endurer des températures de  $-30^{\circ}\text{C}$  à  $+120^{\circ}\text{C}$  ( $210^{\circ}\text{C}$  au niveau des capteurs). Il est d'autre part nécessaire de prévoir une protection anti-UV pour ces isolations. [24]

L'isolation doit être d'une épaisseur suffisante selon les conditions climatiques de chaque région. [24]

La distance entre les capteurs et l'échangeur du ballon doit être le plus petit possible afin de minimiser les pertes de chaleur. [24]

Il faut éviter les points hauts ou s'enferme de l'air. Si cela n'est pas possible il faudra absolument prévoir un purgeur à cet endroit. [24]

Le diamètre des tuyaux doit être de 18mm à 22mm pour des distances jusqu'à 20mètres et de 15mm pour des distances jusqu'à 12m. [24]

Tous les accessoires de connexion utilisés doivent pouvoir endurer des pressions jusqu'à 6 bars et des températures entre  $-30^{\circ}\text{C}$  et  $+120^{\circ}\text{C}/130^{\circ}\text{C}$  ( $210^{\circ}\text{C}$  au niveau des capteurs). [24]

### 2.2.Le circuit électrique et la régulation :

#### a.Fonctionnement :

Tous les appareils fonctionnent avec une tension de 230V / 50Hz.[24]

Dans le cas d'installation d'une résistance électrique il faut vérifier la tension. Les résistances électriques jusqu'à 4kW fonctionnent en 230 V avec thermostat alors que celles de 6kW à 9kW fonctionnent en 3~400V et l'installation d'un thermostat est à obligatoire pour contrôler la résistance. [24]

Le thermostat fonctionne automatiquement. Selon les besoins du consommateur, la température de l'eau peut être réglée à des niveaux plus hauts ou plus bas que ceux réglés d'usine et toujours entre 30°C - 80°C. Si pour une quelconque raison la température dépasse la limite de sécurité, l'interrupteur thermique se met en marche (sécurité).[24]

Cet interrupteur est réglé pour se mettre en marche lorsque la température du thermostat atteint les 100°C ( $\pm 10$ ). Dans le cas où l'interrupteur thermique se met en marche il faut impérativement trouver pourquoi. Une fois l'eau refroidie on pourra le remettre en marche manuellement.[24]

Pendant le transport et l'installation du thermostat il faut éviter de le cogner et, le faire tomber car cela peut produire un dommage sérieux au thermostat avec des conséquences très dangereuses sur son fonctionnement. La connexion électrique doit être effectuée par un électricien certifié. Une mauvaise connexion peut provoquer une explosion du ballon.[24]

Dans le cas où les besoins en eau chaude correspondent aux périodes de la journée ou il n'y a pas ou peu d'ensoleillement, après 17h00 par exemple ou avant 10h00, il est recommandé d'utiliser un disjoncteur qui mettra automatiquement en marche l'appoint électrique pour tout le temps durant lequel on a besoin d'eau chaude.[24]

Toutes les connexions électriques doivent être effectuées par un électricien qualifié, en respectant les normes et réglementations.[24]

Après la fin de l'installation bien nettoyer le lieu de travail.[24]

### b. La résistance électrique :

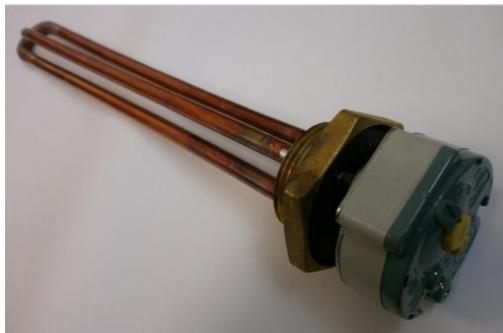


Figure 38 : La Résistance électrique.

### Caractéristiques techniques de la résistance :[24]

Matériel de fabrication : cuivre

Puissance : 2 o 4 kW (1 ~ 230 V) avec thermostat

### c. Le thermostat :



Figure 39 : Thermostat.

Toutes les résistances électriques en monophasé (jusqu'à 4kW) sont constitués avec thermostat incorporé à fonctionnement monopôle et bi- pôle d'interruption thermique de sécurité, à rétablissement manuel.[24]

Lorsque la résistance électrique est installée, il faut toujours placer un couvercle de protection pour assurer l'étanchéité et une sécurité parfaite.

L'installation de la résistance électrique doit être conforme aux normes et réglementations locales en vigueur.

### Caractéristiques techniques du thermostat :[24]

Type de contrôle : incorporé

Modèle thermostat : B2-10

Code de protection IP : 00

Tmax ambiants de fonctionnement : jusqu'à 105°C

Cycles de marche/ arrêt : 10.000 fois (cycles)

Environnement de fonctionnement : environnement propre

### d.Le Régulateur :

La consommation électrique annuelle du thermostat différentielle: environ 12 KWh.[24]



Figure 40 : Le Régulateur TDC1 Plus.[24]

### Description générale :

Le thermostat différentiel électronique programmable assure la commande électrique du circulateur du système solaire. et contrôle le fonctionnement du circulateur des systèmes à circulations forcées, et en option la source d'appoint grâce au contact SPDT. Régulateur à écran digital à réglage intuitif qui affiche les informations sur le système ainsi que les températures des sondes (2 sondes).[24]

### Mode de fonctionnement :

Le thermostat différentiel contrôle en permanence la différence de température entre les capteurs solaires et le ballon. Lorsque la température des capteurs est jusqu'à 10°C (température recommandée 4°C à 6°C) supérieure à celle du ballon, le thermostat différentiel enclenche le circulateur du système solaire.[24]

Cette température, programmable sur le thermostat est la température différentielle d'enclenchement. Le circulateur s'arrête lorsque la différence de température entre les capteurs et le ballon de stockage est inférieure à 2°C (selon la valeur programmée). Il est recommandé de ne pas modifier cette valeur hystérésis de 2°C.[24]

Dans le cas où l'énergie solaire ne suffit pas, le thermostat différentiel (sortie SPDT) peut enclencher une source d'énergie secondaire (résistance électrique).[24]

### Description du régulateur :

#### **Caractéristiques techniques :**

##### **Données électriques :[24]**

Tension secteur	230 V
Fréquence réseau	50...60 Hz
Puissance absorbée	2 VA
Fusible interne	2A à action retardée 250 V
Type de protection	IP40
Classe de protection	II
Entrées de capteur	3 x Pt1000
Plage de mesure	-40°C à 300°C

##### **Conditions ambiantes admissibles :**

Température ambiante :

- Pendant le fonctionnement du régulateur 0°C à 40°C
- Pendant le transport/le stockage 0°C à 60°C

Humidité atmosphérique :

- Pendant le fonctionnement du régulateur 85% max. d'humidité relative. à 25°C
- Pendant le transport/le stockage aucune condensation autorisée

## CHAPITRE IV : MONTAGE CHEUFF-EAU SOLAIRE A CIRCULATION FORCE

### Autres données et dimensions :

- Conception du boîtier en 2 parties, plastique ABS
- Possibilités de montage mural, montage sur tableau de distribution en option
- Dimensions totales 163 mm x 110 mm x 52 mm
- Afficheur écran 100 % graphique 128 x 64 points
- Diode électroluminescente multicolore
- Utilisation 4 touches de saisie

### Sondes de température :

- Sonde de collecteur Pt1000, p. ex. sonde à immersion TT/S2 jusqu'à 180°C
- Sonde d'accumulateur Pt1000, p. ex. sonde à immersion TT/P4 jusqu'à 95°C
- Conduites des sondes 2 x 0,75 mm<sup>2</sup> pouvant être rallongées jusqu'à 30 m max.

Tableau de résistance à la température pour les capteurs Pt1000

°C	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Ω	1000	1039	1077	1116	1155	1194	1232	1270	1308	1347	1385

### 3.Installation :

#### 3.1.Installation du panneau solaire sur un toit plan :

Joindre les lames (A) et (E) pour les bases à 1 et 3 capteurs et les lames (A) et (C) pour les bases à 2 capteurs, de manière à obtenir un cadre parallélogramme, comme indiqué sur (Figure 41).[24]

Tordre les 4 lames (D) comme sur les schémas. Soulever les tuiles et placer les lames tordues (D) sur les poutres en bois ou béton de la toiture. Visser très fortement le cadre parallélogramme (A)+(C) ou (E) sur les lames (D). [24]

Mettre à niveau le cadre et visser fortement les lames (D) sur les poutres de la toiture comme indiqué sur la (Figure 41). [24]

Pour la sécurité de la mise en place de la base, utiliser aussi les lanières métalliques.

Soulever les tuiles et passer les lanières.[24]

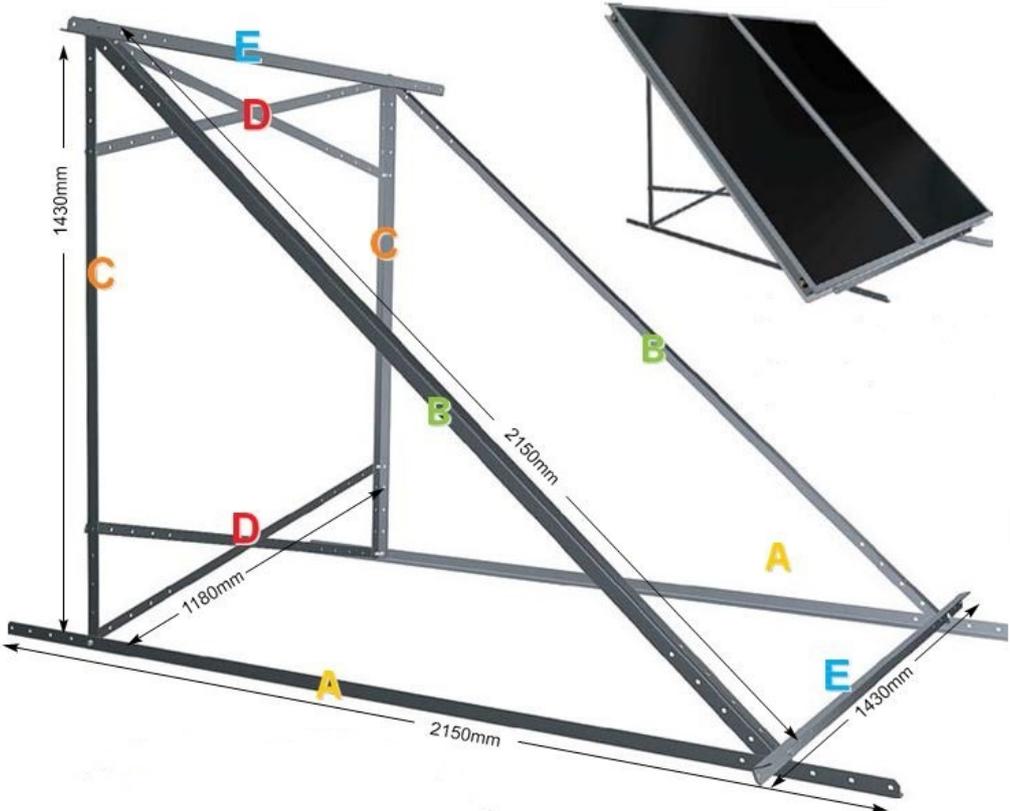


Figure 41: Schéma de montage de la base de support.[24]



Figure 42 :Raccord de la base de support.[24]

## a. Orientation de panneau :

Latitude Géographique	Distance entre capteur/obstacle
0°- 25°	$X = 1,0 \times Y$
25°- 35°	$X = 1,5 \times Y$
35°- 45°	$X = 2,0 \times Y$
45°- 50°	$X = 2,5 \times Y$
50° +	$X = 3,0 \times Y$

Tableau 7: Valeur d'Orientation de panneau.[24]

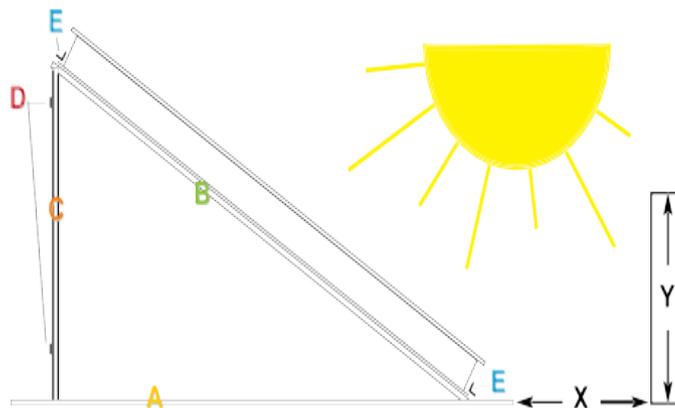


Figure 43 : Schéma d'Orientation de panneau.[24]

### **b.Connexions capteurs et accessoires :**

Pour la connexion de deux capteurs entre eux, on utilise les raccords de connexion en acier comme sur la (Figure 44).[24]

Les bouchons en acier se mettent en diagonale sur les capteurs. [24]

La croix en acier, le purgeur et le doigt de gant se connectent sur la sortie et à l'endroit le plus haut des capteurs. [24]

1-Le doigt de gant : longueur 135 mm se met sur le ballon alors que le petit

2-doigt de gant longueur 65mm se met sur les capteurs. (Voir Figure de droite)

Connecteur de collecteur

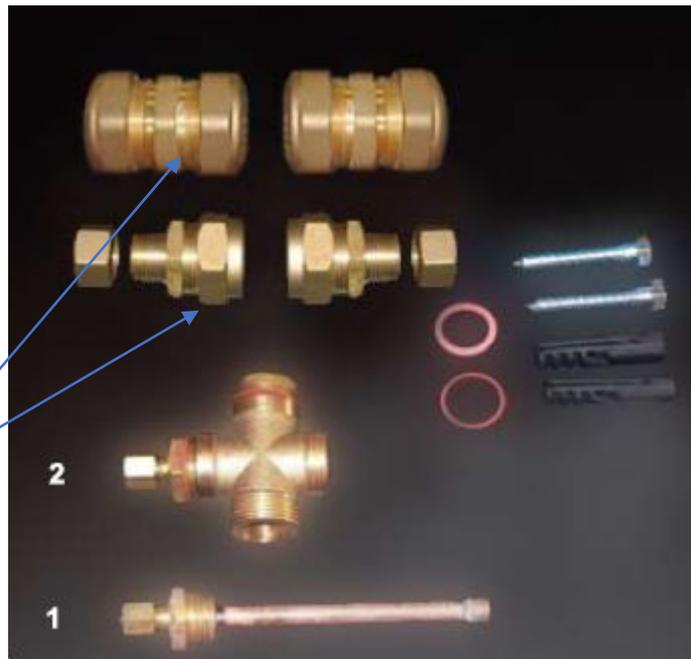


Figure 44 : Raccord de Capteur. [24]

## 3.2. Installation du ballon à l'intérieur de l'habitation :

### a. Caractéristique d'un Ballon :

Capacité : 300 L

Matériel : acier

Soudures : robotisées dans une ambiante sous vide

Traitement interne : émaillage cuit à 850°C

Étanchéité : double contrôle, avant et après l'émaillage

P max. de fonctionnement : 10 bars

P max. des tests : 10 bars

T max. de fonctionnement : + 95°C

#### **Isolation :**

Densité : 40kg/m<sup>3</sup>

Épaisseur : 65mm

#### **Revêtement :**

Matériel : PVC

Tous les ballons sont verticaux et se posent à terre.

**Poids de ballon plein : 405 kg**

#### **Isolation thermique :**

Conductivité thermique : 0.023 W/mk

### b. Dimensions - connexions hydrauliques :



Figure 45 : Ballon

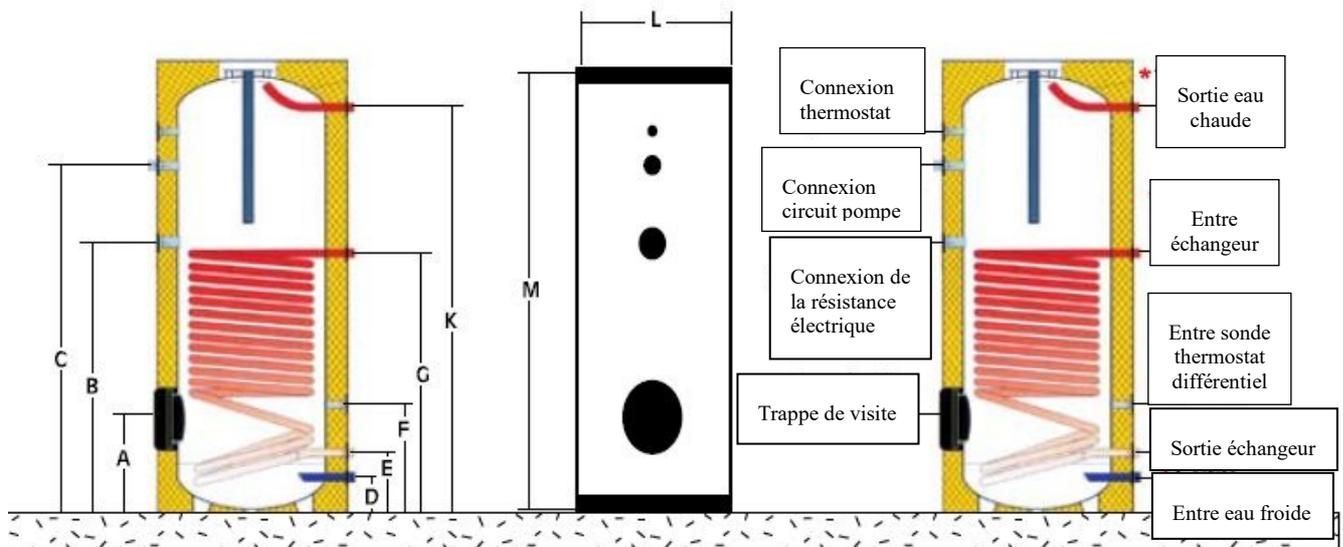


Figure 46 : Dimensions des connexions hydrauliques.[24]

TYPE BALLON	A	B	C	D	E	F	G	K	L	M
V - 300 / BL1	410	1055	1455	170	270	480	995	1770	603	1930

Tableau 8 : Dimensions.[24]

### **c.Echangeur :**

Type : serpentín

Matériel : tube en acier de type lourd



Figure 47 : Echangeur.[24]

### **d.Protection contre la corrosion :**

Nettoyage intérieur de la cuve effectué par une méthode de sablage automatique (et non pas chimiquement) permettant ainsi une parfaite adhésion de l'émaillage.[24]

L'émaillage de qualité alimentaire est effectué par la méthode double direct puis est cuit à une température de 850°C.

Protection contre l'oxydation et la corrosion par une anode en magnésium (Diamètre 32mm) à vérifier puis éventuellement remplacer tous les 2 à 5 ans, suivant la qualité de l'eau.[24]



Figure 48 : anode en magnésium.[24]

### **e. Dispositif d'appoint :**

L'appoint en chauffage se fait par une résistance électrique, en partie haute du ballon.[24]

Le réglage de l'appoint électrique se fait grâce au thermostat incorporé à la résistance.

Le thermostat de la résistance électrique enclenche celle-ci lorsque la température de l'eau du ballon est inférieure à celle réglée sur le thermostat. La résistance est coupée lorsque le ballon est à température. Il est conseillé de régler le thermostat entre 35° et 50° pendant les périodes d'hivers et entre 25° et 40° en période de fort ensoleillement.[24]

### **3.3. Installation des capteurs et du régulateur :**

#### **3.3.1. Sondes de température :**

On utilise la sonde Pt1000.

#### **a. Sonde de collecteur :**

Sonde à immersion TT/S2 jusqu'à 180°C.



Figure 49 : Sonde à immersion TT/S2.[27]

### **b.Sonde d'accumulateur :**

Sonde à immersion TT/P4 jusqu'à 95°C.



Figure 50 : Sonde à immersion TT/P4.[27]

### **3.3.2.Installation du régulateur :**

#### **a.Montage mural :**

Installez le régulateur exclusivement dans des locaux secs.[28]

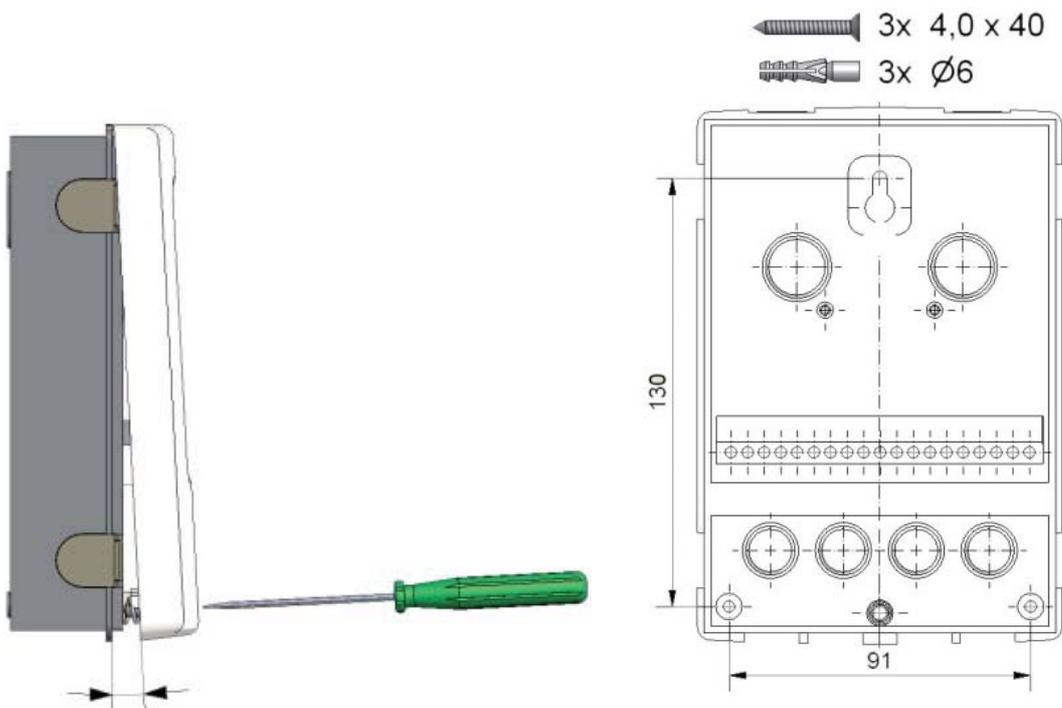


Figure 51 : Boitier.[28]

### b. Raccordement électrique :

1. Sélectionner le programme (1) hydraulique.
2. Ouvrir le boîtier du régulateur
3. Dénuder les câbles au max. de 55 mm, les introduire, monter les décharges de traction, isoler les embouts sur 8 à 9 mm
4. Ouvrir les bornes à l'aide d'un tournevis approprié et procéder au raccordement électrique sur le régulateur.
5. Remettre la partie supérieure du boîtier en place et le fermer à l'aide de la vis.
6. Réactiver la tension secteur et mettre le régulateur en service.[28]

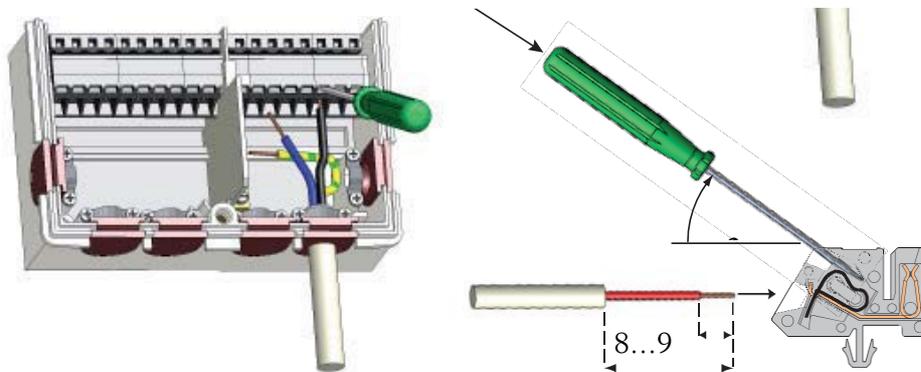


Figure 52 : Raccordement électrique.[28]

## 3.3.3. Schéma des connexions Programme :

### Côté capteur :

-Très basses tensions 12 V CA/CC max.

Raccordement boîte à bornes gauche.

Raccordement pour :

S1 (2x) Sonde 1 Collecteur

S2 (2x) Sonde 2 Accumulateur

La polarité des sondes est quelconque.

### Côté secteur :

-Tensions de réseau 230 V CA 50-60 Hz

Raccordement dans la boîte de bornes droite.

Raccordement pour :

L Secteur conducteur externe L.

N Secteur conducteur neutre N.

R1 Pompe L.

N Pompe N.

Le raccordement des conducteurs de protection PE s'effectue sur le répartiteur PE métallique.[28]

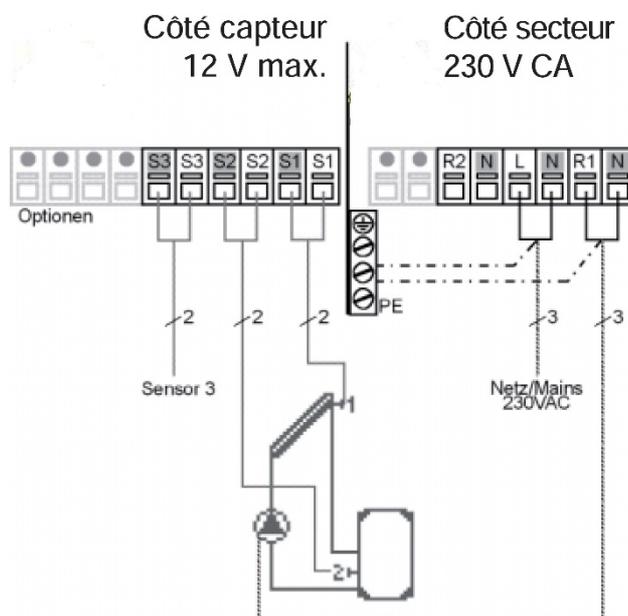


Figure 53 : Raccordement électrique. [28]

3.4. Branchement du circuit hydraulique :

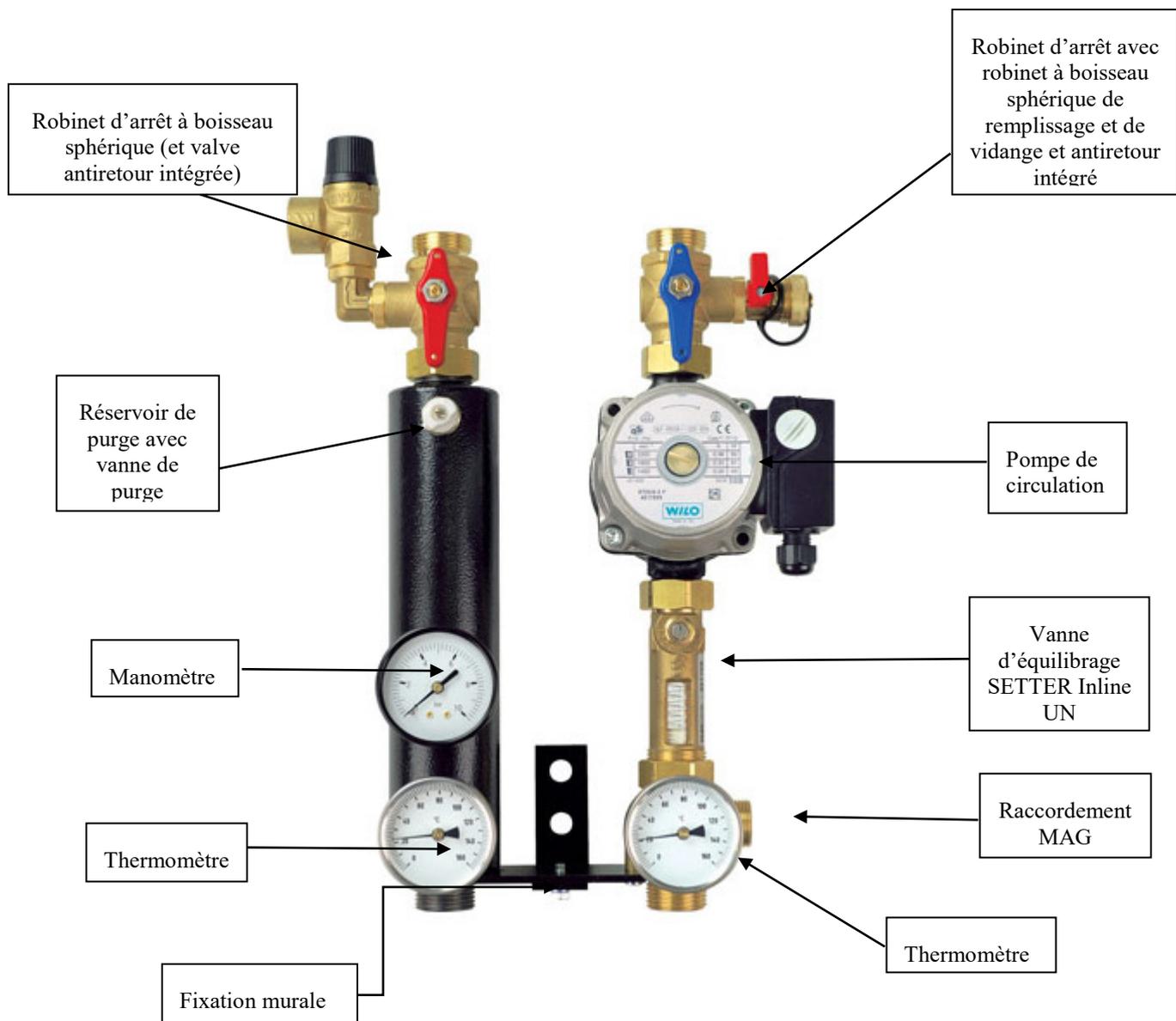


Figure 54 : kit Hydraulique.[24]

### **3.4.1.Eléments circuit d'alimentation :**

#### **a.Robinet d'arrêt à boisseau sphérique (et valve antiretour intégrée) :**

Le robinet à boisseau sphérique coupe la conduite d'alimentation entre le collecteur et l'accumulateur thermique. Comme cela est prescrit par les normes de sécurité, la liaison entre le collecteur et le groupe de sécurité n'est jamais interrompue, quelle que soit la position du robinet à boisseau sphérique.

Le groupe de sécurité garantit, dans toutes les phases de service, la protection des composantes du système contre une pression trop élevée (surpression).[24]

Des perçages dans la poignée du robinet à boisseau sphérique permettent de poser un plombage, afin d'empêcher la fermeture involontaire. Cela permet d'empêcher à ce niveau une coupure involontaire de la ligne de raccordement entre le collecteur et le vase d'expansion.[24]

#### **b.Réservoir de purge avec vanne de purge**

Le réservoir de purge sert à collecter en permanence l'air transporté par le fluide en circulation.

Ce réservoir a une contenance maximale de 2,5 dl environ. Périodiquement, il est possible d'évacuer à l'aide de la vanne de purge l'air qui a été collecté dans le fluide en circulation.[24]

La vanne de purge débouche à l'extérieur, à travers l'isolation ; elle est donc parfaitement accessible même lorsque l'habillage d'isolation est placé. L'ouverture d'évacuation est dotée d'un embout permettant le raccordement facile d'un flexible.[24]

En relevant la fréquence de purge et la quantité d'air purgé, il est possible de contrôler l'étanchéité de l'installation.[24]

#### **c.Manomètre :**

Le manomètre (plage de mesure de 0 à 10 bars) affiche la pression du système.[24]

#### **d.Thermomètre :**

Le thermomètre (plage de mesure de 0 à 160°C) indique la température du fluide dans le circuit d'alimentation. Afin de réduire le temps de réaction, la température est relevée directement dans le fluide.[24]

Le capteur est placé dans un tube de protection, ce qui permet de remplacer le capteur sans avoir à vidanger le circuit.[24]

#### **e.Fixation murale :**

Une platine avec cornière de fixation pour le montage mural est soudée à la station solaire.

Afin de faciliter le montage, il est possible de désolidariser la cornière de la platine et de la fixer au mur.[24]

### **3.4.2.Eléments circuit de retour (côté pompe) :**

#### **a.Robinet d'arrêt avec robinet à boisseau sphérique de remplissage et de vidange (KFE) et antiretour intégré :**

Le robinet à boisseau sphérique permet de couper le circuit de retour entre le collecteur et l'accumulateur thermique. La conception spéciale du robinet permet différentes fonctions.

Lorsque la poignée est positionnée dans le sens d'écoulement, le fluide peut circuler. Un antiretour intégré arrête le fluide dans le sens opposé et sert en même temps de frein à commande par gravité.

Une rotation de la poignée de 90° vers la droite referme le robinet à boisseau sphérique dans le sens d'écoulement du fluide et libère le circuit permettant de remplir et de vidanger la partie supérieure de l'installation (collecteur) à l'aide du robinet.[24]

Une rotation de la poignée de 90° vers la gauche referme le robinet à boisseau dans le sens d'écoulement du fluide et libère le circuit permettant le remplir la partie inférieure de l'installation (accumulateur thermique) à l'aide du robinet.[24]

Pour le raccordement d'un flexible, il est prévu sur un filetage extérieur.

Des perçages dans la poignée du robinet à boisseau sphérique permettent de poser un plombage, afin d'empêcher la fermeture involontaire.[24]

#### **b.Pompe de circulation :**

La pompe de circulation fournie couvre une large plage de fonctionnement.[24]

Grâce aux robinet d'arrêt prévus, côté aspiration (Setter Inline UN) comme côté refoulement (robinet à boisseau sphérique), il est possible de remplacer une pompe défectueuse sans avoir à vidanger l'installation.[24]

#### **c.Vanne d'équilibrage SETTER Inline UN :**

Grâce au réglage précis de la vanne d'équilibrage, il est possible d'adapter le débit aux besoins de l'installation. La vanne d'équilibrage et l'indicateur de débit sont associés sur un même élément de robinetterie. Donc sur la SETTER Inline UN, aucun élément de mesure supplémentaire n'est nécessaire. Le débit est indiqué constamment, c'est-à-dire que le réglage de la vanne peut être contrôlé immédiatement sur l'indicateur.[24]

#### **d.Raccordement MAG :**

L'embout de raccordement a filetage extérieur pour le vase d'expansion est monte en amont de la pompe de circulation. Cette disposition éliminée les baisses de pression de service, même dans les installations critiques. Cela permet d'éviter la diminution de la pression de service, qui favorise l'évaporation précoce du fluide.[24]

#### **e.Thermomètre :**

Le thermomètre (plage de mesure de 0° à 160°C) indique la température moyenne du fluide dans le circuit de retour. Afin de réduire le temps de réaction, la température est relevée directement dans le fluide.[24]

## CHAPITRE IV : MONTAGE CHEUFF-EAU SOLAIRE A CIRCULATION FORCE

Le sonde est placé dans un tube de protection, ce qui permet de le remplacer sans avoir à vidanger le circuit.[24]

### f.Mitigeur thermostatique :

Le mitigeur thermostatique posé en sortie de ballon permet de distribuer l'eau chaude sanitaire à une température constante.[24]

Il apporte le confort d'une eau chaude constante, et permet des économies importantes. Réglable entre 40 et 65°C, permet de mitiger l'eau chaude de sortie du ballon afin qu'elle ne dépasse pas les 60 à 65°C pour éviter tout risque de brûlures.[24]

### 3.4.3.Groupe de sécurité et le vase d'expansion :

Un groupe de sécurité est obligatoire sur l'entrée de l'eau froide du ballon.[24]

Dans le cas d'une surchauffe durant les mois d'été, il est prévu outre, le vase d'expansion et le groupe de sécurité intégré à la station solaire sur le circuit primaire(fermée), un groupe de sécurité sur l'entrée du froid du ballon.[24]

D'autre part, la régulation, lorsque le mode estival est enclenché et que la température maximale programmée est atteinte dans le ballon, fait démarrer la pompe de circulation afin de baisser la température du ballon dès qu'elle détecte que la température des panneaux est au moins 20° inférieure à celle du ballon. Aussi, une sortie de recirculation en partie haute du ballon est disponible dans le cas où l'on voudrait créer une boucle de refroidissement.[24]

### a.Le vase d'expansion :

La vase d'expansion doit permettre l'expansion du fluide caloporteur et permettre d'absorber le volume de ce dernier expulsé du capteur solaire lorsqu'un phénomène d'ébullition survient, et cela sans hausse excessive de la pression.[29]

Vase d'expansion d'une capacité de 18 litres et une longueur maximale du circuit fermé jusqu'à 50m, tuyauteries D=22mm. Le vase d'expansion se raccorde au kit hydraulique à l'aide du tuyau flexible.[24]



Figure 55 : vase d'expansion.[30]



Figure 56 : Groupe de sécurité.[30]

### 3.4.4. Le liquide antigel :

Le circuit hydraulique fermé est de type circulation forcée avec simple échange thermique. Le circuit est non aéré et non vidangeable. Le remplacement de liquide caloporteur est à faire tous les 3 ans.[24]

Glycol utilisé pour éviter le gel dans le circuit fermé des capteurs solaires.il doit être mélangé avec de l'eau selon les conditions climatiques (température ambiante minimale) locales.[29]

Dilution	
% v. dans l'eau	Point de congélation
20%	- 7°C
30%	- 13°C
40%	- 23°C
50%	- 34°C

Tableau 9 : les taux de mélange eau/fluide selon les températures extérieures.[29]

### 3.4.5. Le clapet anti-retour :

Le clapet anti-retour a pour fonction d'empêcher, dans les systèmes sans vidange qu'un effet de thermosiphon n'entraîne une inversion du circuit primaire en cas d'arrêt de la pompe.[29]



Figure 57 : Clapet anti-retour.[29]

### **3.4.6.Soupape de sécurité :**

La soupape de sécurité sert à limiter la pression maximale dans le circuit primaire, les soupapes de sécurité sont constituées d'un boîtier en laiton et peuvent être associée à un manomètre, habituellement les soupapes de sécurité ont des pressions d'ouverture de 4 à 6 Bars.[29]



Figure 58 : Soupape de sécurité.[29]

### **3.4.7.Les robinets de vidanges :**

Des robinets de vidange et de remplissage devront être placés au point le plus bas du circuit solaire et sur l'arrivée d'eau froid afin de pouvoir effectuer la vidange complète de l'installation.[29]



Figure 59 : Robinet de vidange.[29]

### **3.4.8. Les purgeurs :**

Les purgeurs permettant à l'air de s'échapper des tuyauteries, ce qui se produit lors de remplissage et le cas échéant ultérieurement en cours de fonctionnement de l'installation, les purgeurs doivent être disposés aux points les plus élevés de l'installation, le purgeur est uniquement prévu pour les installations sans vidange. On utilise exclusivement des purgeurs à commande manuelle ou des purgeurs automatiques (verrouillables) lors du fonctionnement normal de l'installation.[29]



Figure 60 : Purgeur automatique.[29]

### **3.4.9. Accessoires de connexion :**

- Vis, écrous et chevilles.
- Coude (en croix) en cuivre.
- Raccords de connexions et bouchons pour capteurs.
- Tuyau flexible pour raccordement avec le vase d'expansion.
- Doigts de gants pour les sondes ballon et capteur.
- Vanne de purge des capteurs.

### 3.5. Branchement du circuit électrique :

#### 3.5.1. Connexion de la résistance avec le thermostat :

Utilisable en 230 v monophasé.

Ne pas oublier le conducteur de protection V/J = Terre.

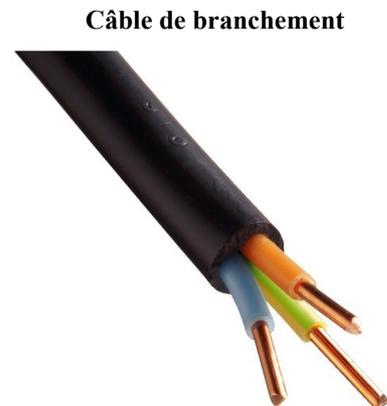
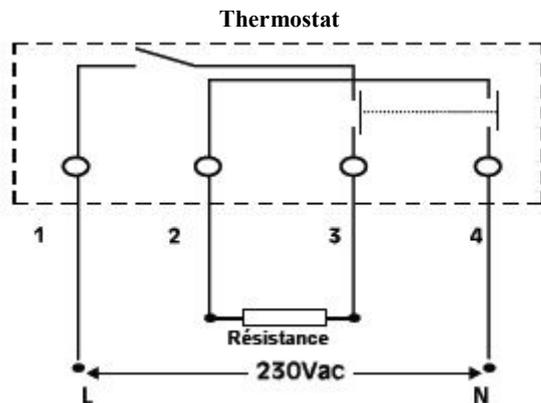


Figure 61 : Branchement de la résistance électrique.[24]

Figure 62 : Câble 3G2.5 mm<sup>2</sup> Bleu- Marron V/J.

#### a. Instruction sur la connexion des câbles :

Coupez l'alimentation électrique.

2. Le couvercle de la résistance électrique se trouve à la partie inférieure de l'appareil. Dévissez les 4 vis et retirez le couvercle.

3. Le thermostat est ajusté par l'usine aux 60°C. Vous pouvez l'ajuster à la température désirée en utilisant le thermorégulateur (34). Nous vous conseillons que la température ne dépasse pas le 75° C.

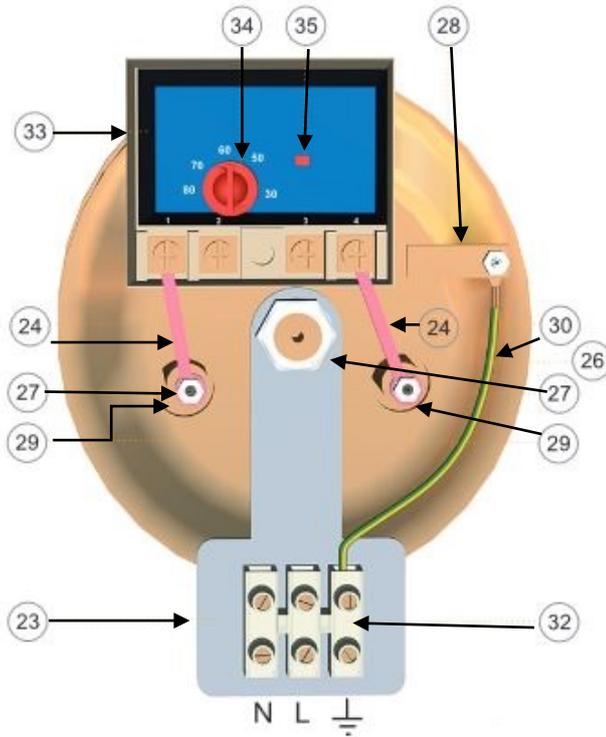
4. Contrôlez l'interrupteur thermique de sécurité (indication "F" ou "S") qui se trouve au thermostat. Il est de couleur rouge et il est activé lorsque le bouton est enfoncé.

5. Connectez au borne 2 du thermostat le borne "N" du connecteur de ligne de l'alimentation (câble bleu). Connectez au borne 3 du thermostat le borne "L" du connecteur des lignes électriques (câble noir).

6. Le conducteur de mise à la terre est connecté par le fabricant, comme illustré au dessin. Assurez-vous qu'il est bien vissé.

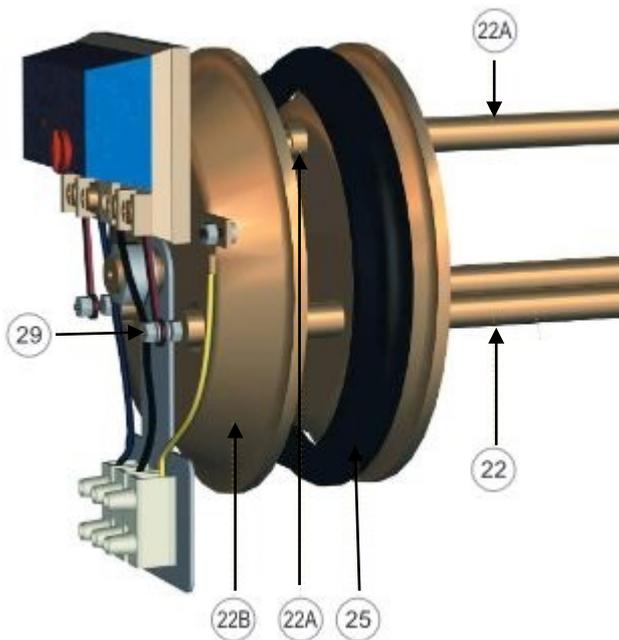
7. Passez le câble par le trou du couvercle (21) et connectez les câbles sur le connecteur des lignes électriques. Vissez le couvercle (21) dans le réservoir.[24]

**b. Description des parties de la résistance électrique et de thermostat :**



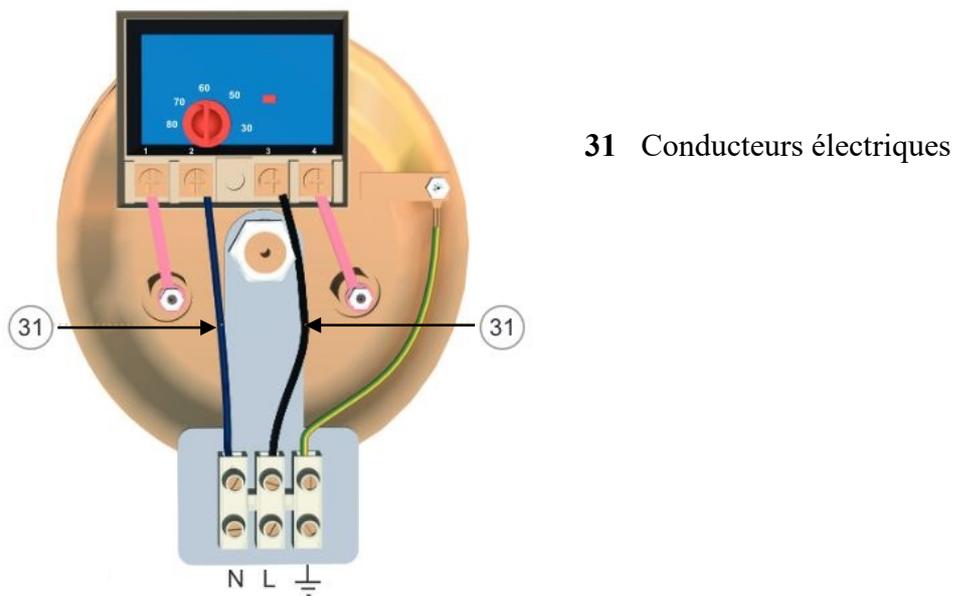
- 23 Support du connecteur de ligne d'alimentation
- 24 Des conducteurs métalliques pour la connexion de la résistance avec le thermostat
- 26 Ecrous de serrage
- 27 Erou central
- 28 Borne de mise à la terre
- 29 Borne de la résistance électrique
- 30 Conducteur de mise à la terre
- 32 Connecteur de ligne de l'alimentation
- 33 Thermostat
- 34 Thermorégulateur
- 35 Interrupteur thermique de sécurité (indication "F" ou "S")

Figure 63 : Résistance électrique vue de face.[24]



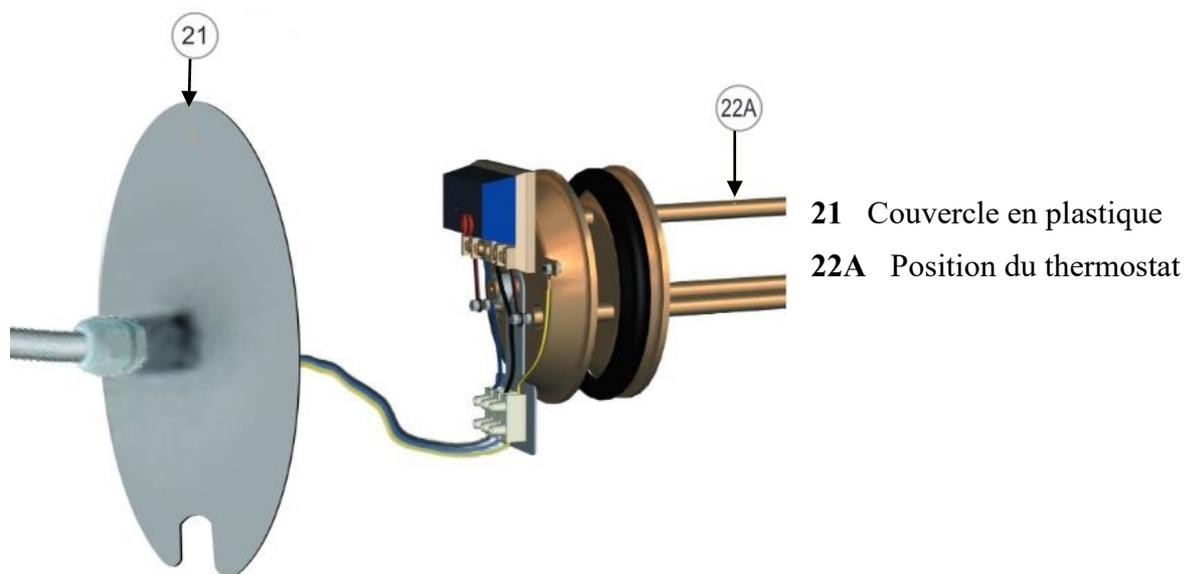
- 22 Résistance électrique
- 22A Position du thermostat
- 22B Couvercle résistance
- 25 Trappe en caoutchouc pour assurer l'étanchéité
- 29 Borne de la résistance électrique

Figure 64 : Résistance électrique vue de droit.[24]



31 Conducteurs électriques

Figure 65 : Résistance électrique vue de face.[24]



21 Couvercle en plastique  
22A Position du thermostat

Figure 66 : Résistance électrique vue de droit.[8]

### **4. Mise en marche :**

#### **4.1. Vérification des branchements électriques :**

##### **Régulateur et connexion électrique :[24]**

- Programmé Le thermostat aux bonnes températures.
- Fonctionnement de thermostat.
- Température limite ballon bien réglé (en l'absence de mitigeur à la sortie du ballon).
- Sonde ballon bien en place.
- Sonde ballon en bon fonctionnement.
- Fils électriques bien fixés.
- Connexions électriques en conformité avec les règles/ norme en vigueur dans la région (protection, mis à terre, ...).

#### **4.2. Vérification du circuit hydraulique :**

##### **Capteur et tuyauterie :[24]**

- Installation de la base de support et des capteurs selon les instructions et les règles / normes en vigueur dans la région.
- Emplacement et orientation idéaux des capteurs.
- Vérifier l'humidité dans les capteurs.
- Raccordement hydraulique des capteurs correct.
- Mise en place et fonctionnement correct des sondes de température.
- Présence d'une bonne protection anti-UV des isolations.
- Présence d'une bonne isolation des tuyauteries.

#### **4.3. Remplissage du circuit hydraulique fermé :**

##### **Circuit fermée :[24]**

- Il faut que l'inclinaison des tuyauteries permette la purge par le point le plus haut.
- Pression du circuit fermé correcte.
- Éviter la Présence de fuites dans les circuits, connexions, échangeur...
- Présence d'un manomètre sur le circuit des capteurs.
- Positionnement de la Vanne de remplissage.
- Présence de clapet anti-retour.
- Présence de vanne de vidange en point bas.
- Présence d'un réceptacle d'eau / fluide caloporteur.
- Soupape de sécurité raccordée au réceptacle.
- Affichage de la marque et du type d'antigel bien lisible.

### 4.4. Remplissage du circuit hydraulique ouvert :

#### Ballon et circuit d'eau chaude : [24]

- La résistance électrique si elle est bien connectée.
- Présence de mitigeur thermostatique.
- Isolation du ballon en bon état.
- Groupe de sécurité raccordé à l'égout.

### 4.5. Mise en marche de l'installation :

#### a. Fonctionnement :

Lorsque la différence de température entre la sonde qui se trouve dans les capteurs et celle qui se trouve dans le ballon de stockage est supérieure à la "Température Différentielle d'enclenchement" programmée sur le régulateur, le circulateur du circuit fermé des capteurs solaires (qui se trouve sur le kit hydraulique) se met en marche. Le circulateur ne fonctionne que pendant le temps où cette condition est remplie et l'eau du ballon est alors chauffée par le circuit solaire. Dans le cas où les conditions ci-dessus ne sont pas remplies, une résistance électrique est utilisée en tant que source d'énergie complémentaire commandé par le thermostat. [24]

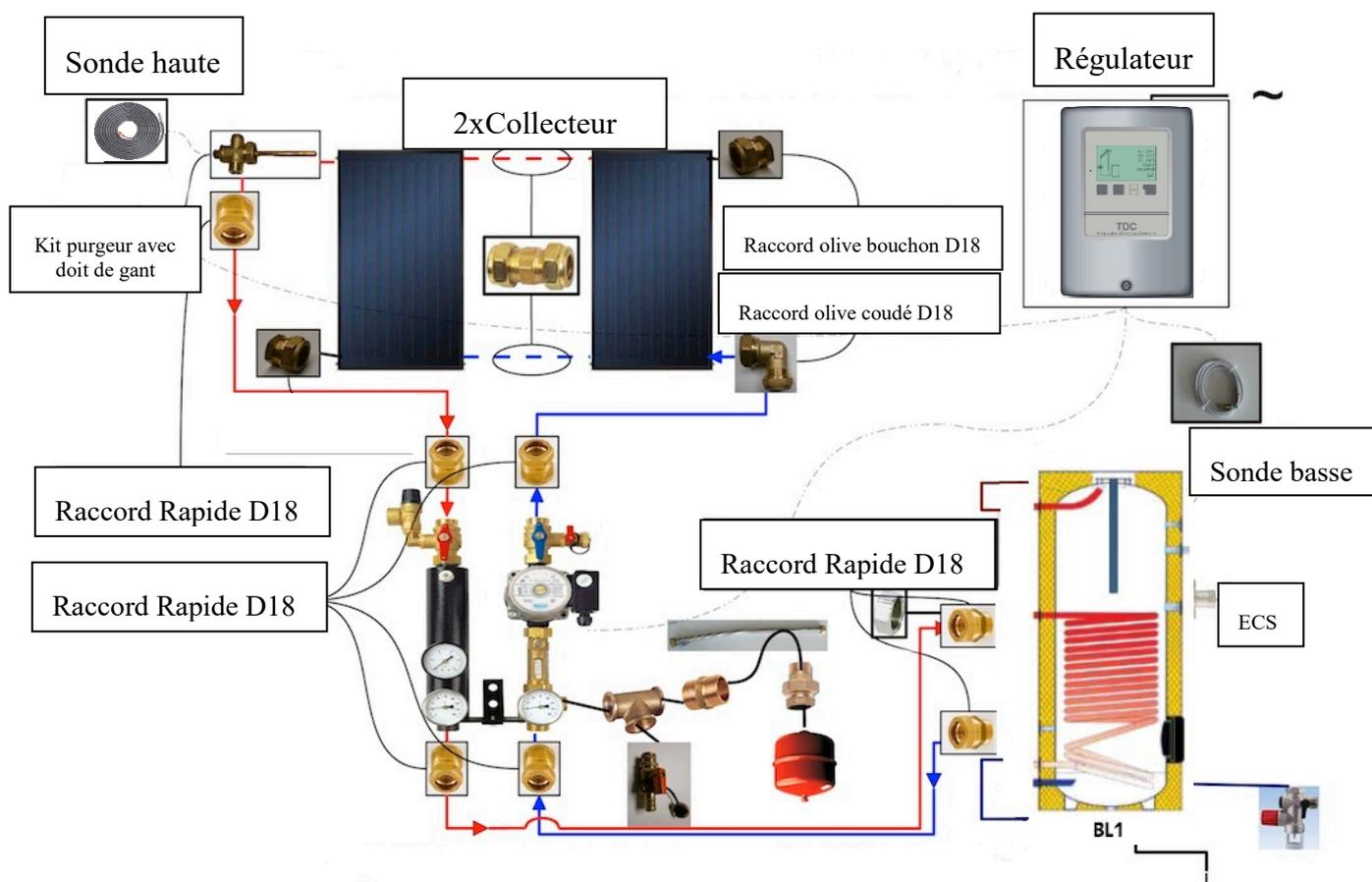


Figure 67 : schéma d'une installation solaire a circulation forcée.

## CONCLUSION GENERALE

Le suivi des performances des installations solaires impose la mise en place d'équipements spécifiques de mesure et de suivi qui permettent de garantir les bons résultats escomptés.

Pour garantir les performances de ces installations, il faut les connaître et les qualifier par, le développement des méthodes de dimensionnement et de simulation les plus avancées technologiquement, et développer les composants de bonne qualité conformément aux normes et aux spécifications techniques.

Les chauffe eaux solaires connaissent un grand essor actuellement, car ce genre d'installation est très rentable et leur durée de vie dépasse les 25 ans, elle évite l'émission des gaz à effet de serre, préserve les énergies conventionnelles, en plein hiver, l'installation de production d'eau chaude solaire n'a besoin que de quelque degré pour chauffer l'eau qui est déjà préchauffée dans les capteurs.

Notre travail contribue au développement du domaine de production d'eau chaude solaire , par l'investigation et l'exploration de système solaires les plus performants de point de vue économique et environnementale. Notre souhait est que l'état Algérienne encourage davantage ce genre d'applications à travers des subventions et des programmes nationaux pour le développement de cette filière.

Après une présentation succincte sur le solaire, nous avons dressé un état de l'art sur les chauffe-eaux solaires. Notre intérêt a porté par la suite sur chauffe-eau solaire plan à circulation forcée.

La modélisation numérique est réalisée par le code TRNSYS qui utilise la méthode des bilans globaux des énergies. Les résultats de simulation numérique permettent de découvrir les profils de température aux différents endroits de l'installation.

Les résultats obtenus mettent en évidence l'influence des différents paramètres sur l'évolution de la température d'eau et sur le rendement instantané du capteur plan.

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] S. E. Laouini, BenHouda, and O. Imed, "Etude expérimentale et développement d'un bassin d'eau utilise comme capteur solaire," 2010.
- [2] A. A, D. V, O. A, and S.-Y. M, "Etude expérimentale de capteur solaire a air, le séchage de la figue."
- [3] "<http://www.driee.ile-de-france.developpement-durable.gouv.fr/energies-renouvelables-et-de-recuperation-a3432.html>."
- [4] "<https://www.edf.fr/groupe-edf/espaces-dedies/l-energie-de-a-a-z/tout-sur-l-energie/ledeveloppement-durable/qu-est-ce-qu-une-energie-renouvelable>."
- [5] "<https://www.energie-renouvelable.tv/>."
- [6] J. J. BEZIAN, "L 'Energie Solaire."
- [7] P. CALLAS, "Energie inépuisable disponible partout dans le monde," p. 16.
- [8] S. BENTOUBA, "Les énergies renouvelables dans le cadre d'un développement durable en Algérie willayas du grand sud exemple," article Centre Universitaire de Béchar– Algérie, 11 et 12 Novembre 2006., 2006.
- [9] M. L. BEN GUEHZA, "Impact de l'espace entre les deux vitrages sur le rendement d'un capteur solaire," Universite de KASDI Merbah OUARGLA, 24 Février 2009, 2009.
- [10] F. YACINE, "Etude des nouvelles générations de cellules photovoltaïques," Université Des Sciences et de le Technologie d'Oran Mohamed Boudiaf(USTO.MB), 2011.
- [11] F. TOUR and A. I. GUENANECHÉ, "étude de l'effet de la mini-concentration solaire dans un capteur solaire plan a air," Centre Universitaire BELHADH BOUCHAIB d'Ain T'émouchent., 2017.
- [12] A. Fernandez-Garcia, E. Zarza, L. Valenzuela, and M. Perez, "Parabolic-trough solar collectors and their applications," *J. Renew. Sustain. Energy Rev.* 4(7), 1695–1721, 2010.
- [13] B. R *et al.*, "Linear Fresnel collector demonstration at the PSA – Operation and investigation," ower and Chemical Energy Technologies, 14–18 Sept., Berlin.
- [14] "<http://www.psa.es/webeng/index.php> PlataformaSolarde Almeria. [En ligne]."
- [15] K. Hicham, "Etude Comparative Et Rendement Energétique des Différents degrés De Concentration Des Convertisseurs Thermodynamique De L'énergie Solaire," 2011.
- [16] H. AL F and V.-H. L, "Power Wit héliostats," *Science*, 198, 1139– 1146., 1977.
- [17] Z. Asma, "Étude par simulation du fonctionnement d'un système photovoltaïque menu d'une commande MPPT," université Abou bekrelkaid Tlemcen., 2016.
- [18] H. Oussama and B. Amine Ahmed, "Dimensionnement d ' un Chauffe-eau Solaire," UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA, 2017.
- [19] O. Si-Youcef M, "Etude expérimentale de capteur solaire a air, le séchage de la figue," 2005.
- [20] B. Malika, "Simulation thermique d ' une maison solaire pour la Production d ' eau chaude sanitaire ( ECS )," Hassiba Benbouali de Chlef, 2012.

- [21] A. ABDELLAHIM, “Etude théorique et dimensionnement d’un chauffe-eau solaire,” Depot institutionnel de l’Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen UABT.
- [22] “[www.forumconstruire.com/guides/guide-choisir-chauffe-eau](http://www.forumconstruire.com/guides/guide-choisir-chauffe-eau).” .
- [23] M. T. BAISSI, K. TOUAFEK, I. TABET, and A. KHELIFA, “Conception D’Un Capteur Solaire Hybride Photovoltaïque Thermique (Systeme-Thermosiphon),” *Archives.Umc.Edu.Dz*. pp. 498–508, 2016.
- [24] S. . Heliokmi, “Systeme a cerulation forcée manuel technique,” *megasun*, no. 1.
- [25] “[www.solaire-diffusion.eu](http://www.solaire-diffusion.eu).” .
- [26] B. Rachid, “Conception et régulation des systèmes fermés de distribution et de circulation de chauffage/climatisation Soutenu,” Aboubekr Belkaide Tlemcen, 2013.
- [27] “[www.tbs-international.fr](http://www.tbs-international.fr).” .
- [28] “Régulateur différentiel température TDC 3,” pp. 1–44, 2009.
- [29] B. Aghilas, “Etude de performances d ’ un capteur solaire plan à eau,” UNIVERSITE DE LORRAINE, 2016.
- [30] “[www.leroymerlin.fr](http://www.leroymerlin.fr).” .