

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

*Ecole Nationale Polytechnique*



Département De Génie Mécanique

**Projet de Fin d'Etudes**

En vue de l'obtention de diplôme d'ingénieur d'état en Génie  
Mécanique

*Thème*

***Etude comparative entre un chauffage  
conventionnel et un chauffage solaire  
d'une maison individuelle***

**Proposé et dirigé par :**

Mr. Mohamed MADANI  
Mme. Fatiha SAHNOUNE

**Réalisé par :**

Mr. Omar IZERAR

Promotion: 2011/2012

Ecole Nationale Polytechnique, 10 Av. Hassan Badi, El Harrach, Alger, Algérie.

ملخص:

إن هذا العمل هو دراسة مقارنة بين التدفئة التقليدية والتسخين الشمسي لمنزل. في البداية قدمنا بعض العلاقات على الإشعاع الشمسي الفلكي وأنظمة التدفئة الشمسية و سخان المياه. ولإجراء هذه الدراسة قدمنا مخطط المنزل من أجل الحساب الكلي لضياح الحرارة المختلفة في أجزاء مختلفة من المنزل، وتقييم مدى الحاجة لأغراض التدفئة والمياه الساخنة. تم إجراء التصميم للنظام الشمسي من المعادلات لإعطاء مساحة الألتقاط وعدد اللاقطات الشمسية اللازمة لتلبية احتياجات التدفئة. في النهاية، تمكنا من القيام بإجراء تقييم اقتصادي لاستثمارنا ودراستها البيئية لتكون قادرة على المقارنة بين موارد مختلفة من الوقود الأحفوري التي تلبى احتياجات نفس المنزل.

**كلمات البحث:**

التدفئة الشمسية، التصميم، الدراسة البيئية، تقييم اقتصادي، سخان المياه، اللاقطات الشمسية

**Résumé :**

Ce travail, est une étude comparative entre un chauffage conventionnel et un chauffage solaire d'une maison individuelle. Dans un premier temps on a donné quelques relations astronomiques sur le gisement solaire et les différents systèmes de chauffage solaire et d'eau chaude sanitaire. Et pour bien mener cette étude, on a présenté le plan d'aménagement de notre maison afin de pouvoir faire un bilan calorifique général sur les différentes déperditions thermiques des différentes pièces de la maison et évaluer les besoins en chauffage et en eau chaude sanitaire. Le dimensionnement de l'installation solaire est fait à partir des relations donnant la surface de captage et le nombre de capteur solaire nécessaire pour répondre aux besoins de chauffage. A la fin, on a pu faire une évaluation économique de notre investissement et étudier son impact sur l'environnement pour pouvoir le comparer avec les différentes ressources d'énergies fossiles qui répondent aux mêmes besoins.

**Mots clés :** chauffage solaire, capteurs solaire, chauffe eau solaire, dimensionnement, impact environnemental, étude économique.

**Abstract:**

This work is a comparative study between a conventional heating and a solar heating of a house. Initially we gave some astronomical relations on the solar layer and the various systems of solar heating and domestic hot water. And for undertaking this study well, we presented the plan of installation of our house in order to be able to make a general heat balance on the various thermal losses of the various parts of the house and to evaluate the requirements in heating and domestic hot water. The dimensioning of the solar installation is made starting from the relations giving the surface of collecting and the number of solar collector necessary to meet the needs for heating. With end, we could make an economic evaluation of our investment and study his environmental impact to be able to compare it with the various resources of fossil energies which meet the same needs.

**Key words:** solar heating, solar collectors, solar heating water, dimensioning, environmental impact, economic survey.



# remerciement

*Tout d'abord, je remercie le bon Dieu de m'avoir donné l'opportunité pour achever mes études supérieures.*

*Je tiens à remercier Monsieur Mohamed MADANI et Madame Fatiha SAHNOUNE pour leur aide et les conseils avisés qu'ils m'ont apporté pour réaliser ce travail.*

*Je tiens à remercier les membres de jury, les enseignants de l'Ecole Nationale Polytechnique et particulièrement ceux de département génie mécanique.*

*Je tiens aussi à remercier Monsieur Dr : CHARBAL Omar enseignant a l'USTHB pour son aide précieuse durant tout mon cursus d'ingénieur*

*Je tiens enfin à remercier tous mes amis ainsi que tous ce qui ont contribué de pré ou de loin à la réalisation de ce travail.*



# Dédicaces

*Je dédie ce modeste travail*

*A ma très chère Mère et mon très cher Père*

*A mon Grand Père et à la mémoire de ma Grand Mère*

*A mon cher frère Ferhat et mes chères sœurs*

*A ceux qui m'ont toujours encouragé pour que je réussisse  
dans mes études*

*A ceux qui ont veillé pour mon bien être*

*A ceux qui m'ont soutenu dans les moments les plus difficiles  
de ma vie*

*A ceux que j'aime et je respect infiniment*

*A toute la famille IZERAR*

*A tous mes amis qui ont toujours été présents et qui n'ont  
ménagé aucun effort pour me bénéficier avec leur aide et  
leur suggestions*

*A tous mes camarades du Département de Génie Mécanique*

**OMAR**

<b>INTRODUCTION GENERALE.....</b>	<b>1</b>
<b>Chapitre 1 : Généralités .....</b>	<b>3</b>
<b>Introduction .....</b>	<b>3</b>
<b>PARTIE 1.....</b>	<b>3</b>
<b>1.1 Gisement solaire.....</b>	<b>3</b>
1.1.1 Le soleil, description .....	3
1.1.2 Constante solaire .....	5
1.1.3 Déclinaison solaire .....	5
1.1.4 Latitude ( $\varphi$ ) et longitude (L).....	6
1.1.5 Mouvements de la Terre .....	6
1.1.6 La position du soleil .....	7
1.1.7 Durée d'insolation .....	9
1.1.7.1 Insolation potentielle (théorique) .....	9
1.1.7.2 Fraction d'insolation.....	9
1.1.8 Rayonnement solaire au sol.....	10
1.1.9 Potentiel solaire en Algérie.....	11
<b>PARTIE 2.....</b>	<b>12</b>
<b>1.2 Technologie des systèmes solaire .....</b>	<b>12</b>
1.2.1 Principe des capteurs solaires thermiques .....	12
1.2.2 Capteurs thermiques à basse température.....	13
1.2.2.1 Capteur plan sans vitrage.....	13
1.2.2.2 Capteur plan vitrés .....	14
1.2.2.3 Capteur sous vide.....	19
1.2.3 Les concentrateurs solaires.....	19
1.2.3.1 Les capteurs solaires paraboliques.....	20
<b>PARTIE 3.....</b>	<b>21</b>
<b>1.3 Application du capteur plan à basse température .....</b>	<b>21</b>
1.3.1 Eau chaude sanitaire .....	22
1.3.2 Chauffage des locaux.....	26
1.3.3 Le distillateur solaire.....	28
<b>Conclusion .....</b>	<b>29</b>
<b>Chapitre 2 : Lois fondamentales de transmission de chaleur .....</b>	<b>30</b>
<b>Introduction .....</b>	<b>30</b>

## Sommaire

---

<b>2.1</b>	<b>Définition .....</b>	<b>30</b>
2.1.1	<b>Champ température .....</b>	<b>30</b>
2.1.2	<b>Gradient de température .....</b>	<b>30</b>
<b>2.2</b>	<b>Flux de chaleur .....</b>	<b>30</b>
<b>2.3</b>	<b>les différents modes de transfert de chaleur.....</b>	<b>31</b>
2.3.1	<b>Conduction .....</b>	<b>31</b>
2.1.1	<b>Convection.....</b>	<b>32</b>
2.3.1.1	<b>Flux de chaleur en convection forcée .....</b>	<b>33</b>
2.3.1.2	<b>Flux de chaleur en convection naturelle.....</b>	<b>34</b>
2.3.2	<b>Rayonnement.....</b>	<b>35</b>
<b>Chapitre 3 : Calcul des déperditions thermiques .....</b>		<b>40</b>
<b>Introduction .....</b>		<b>40</b>
<b>3.1</b>	<b>Composition de la maison .....</b>	<b>40</b>
<b>3.2</b>	<b>Bilan thermique de la maison .....</b>	<b>43</b>
3.2.1	<b>Déperditions par transmission à travers les parois.....</b>	<b>43</b>
3.2.1.1	<b>Déperdition par transmission à travers les parois extérieures.....</b>	<b>43</b>
3.2.1.2	<b>Déperditions par transmission à travers les liaisons thermiques .....</b>	<b>44</b>
3.2.1.3	<b>Déperditions par transmission à travers le sol.....</b>	<b>45</b>
3.2.1.4	<b>Déperditions par transmission à travers les locaux non chauffés .....</b>	<b>45</b>
3.2.2	<b>Déperdition par renouvellement d'air.....</b>	<b>45</b>
3.2.3	<b>coefficient GV .....</b>	<b>45</b>
3.2.4	<b>Déperditions dans un lieu donné pour la période hivernale .....</b>	<b>46</b>
<b>3.3</b>	<b>Description de la maison .....</b>	<b>46</b>
<b>3.4</b>	<b>Les coefficients de transmission surfaciques K.....</b>	<b>46</b>
<b>3.5</b>	<b>La maçonnerie de la maison .....</b>	<b>47</b>
<b>3.6</b>	<b>Le bilan calorifique .....</b>	<b>49</b>
<b>3.7</b>	<b>Calcul des besoins en chauffage.....</b>	<b>53</b>
<b>3.8</b>	<b>Les besoins thermiques en eau chaude sanitaire.....</b>	<b>54</b>
<b>Conclusion .....</b>		<b>55</b>
<b>Chapitre 4 : Dimensionnement .....</b>		<b>56</b>
<b>Introduction .....</b>		<b>56</b>
<b>4.1</b>	<b>Calcul des apports solaires.....</b>	<b>56</b>
4.1.1	<b>Fraction d'insolation.....</b>	<b>56</b>

4.1.2 Calcul des différents rayonnements (G, D, d) sur une surface horizontale .....	56
4.1.3 Calcul des différents rayonnements (G, D et d) sur une surface inclinée .....	57
4.2 Dimensionnement de l'installation pour le chauffage domestique et l'eau chaude sanitaire .....	58
4.2.1 Choix de capteur .....	58
4.2.2 Caractéristiques générales.....	59
4.2.3 Caractéristiques du réservoir de stockage .....	60
4.2.4 Caractéristiques dimensionnelles de capteur solaire ST2000 .....	60
4.3 Rendement du capteur .....	61
4.4 Installation pour le chauffage .....	62
4.5 Surface de captage.....	63
4.5.1 Détermination de la surface de captage nécessaire pour l'eau chaude sanitaire .....	63
4.5.2 Détermination de la surface de captage nécessaire pour le chauffage .....	63
4.5.3 Nombre de capteurs utilisés.....	63
4.5.4 Volume de stockage .....	63
4.5.5 Volume de stockage pour le chauffage.....	63
Conclusion .....	63
Chapitre 5 : Etude économique et impact environnemental.....	64
Introduction .....	64
5.1 Etude économique: .....	64
5.1.1 Calcul de prix du KWh solaire .....	64
5.1.2 Coût de l'investissement (l'installation solaire).....	64
5.1.3 Calcul de l'aide de l'état .....	64
5.1.4 Les énergies conventionnelles .....	65
5.1.5 Coût de KWh de l'installation en utilisant le gaz naturel.....	65
5.1.6 Coût de KWh de l'installation en utilisant l'électricité.....	66
5.1.7 Coût de KWh de l'installation en utilisant le gaz butane .....	66
5.1.8 Coût de KWh de l'installation en utilisant le fuel (mazout) .....	67
5.2 L'impact sur l'environnement .....	67
5.2.1 Calcul des émissions de CO <sub>2</sub> générées par les énergies conventionnelles .....	68
Conclusion .....	69
CONCLUSION GENERALE .....	70

# Liste

## Des figures

<b>Fig (1.1) :</b> Analyse spectrale du rayonnement solaire .....	5
<b>Fig (1.2) :</b> Coordonnées terrestre d'un lieu.....	6
<b>Fig(1.3) :</b> Mouvements de la terre.....	7
<b>Fig(1.4) :</b> Repérage de la position du soleil dans le ciel.....	9
<b>Fig (1.5) :</b> Potentiel solaire en Algérie.....	12
<b>Fig (1.6) :</b> principe de fonctionnement d'un capteur thermique.....	13
<b>Fig (1.7) :</b> capteur plan non vitré.....	13
<b>Fig (1.8) :</b> Installation de production d'eau chaude sanitaire.....	14
<b>Fig (1.9) :</b> Coupe d'un capteur plan vitré.....	15
<b>Fig(1.10) :</b> Absorbeurs sous forme d'échelle et de serpentín.....	16
<b>Fig (1.11) :</b> Facteurs énergétiques d'un vitrage.....	18
<b>Fig (1.12) :</b> Capteur sous vide.....	19
<b>Fig (1.13) :</b> Coupe d'un capteur sous vide.....	19
<b>Fig (1.14) :</b> Capteur parabolique avec moteur Stirling.....	20
<b>Fig (1.15) :</b> Schéma de principe d'une installation solaire basse température.....	21
<b>Fig(1.16) :</b> Schéma d'un système a thermosiphon.....	23
<b>Fig(1.17) :</b> système à circulation forcée.....	24
<b>Fig(1.18) :</b> Chauffe eau solaire monobloc.....	25
<b>Fig(1.19) :</b> Schéma d'une installation de chauffage solaire.....	25
<b>Fig(1.20) :</b> Schéma simplifié d'un chauffage solaire passif à air ( mur capteur).....	26
<b>Fig(1.21) :</b> Chauffage solaire par air(stockage par lit de prière).....	27
<b>Fig(1.21) :</b> Distillateur solaire.....	28
<b>Fig(2.1) :</b> Isotherme et gradient thermique.....	29
<b>Fig(2.2) :</b> Schéma du transfert de chaleur par conduction.....	30
<b>Fig(2.3) :</b> Schéma du transfert de chaleur convectif.....	31
<b>Fig (2.4) :</b> Schéma du transfert de chaleur radiatif.....	35
<b>Fig(2.5) :</b> principe de l'expérience de W.Herschell.....	36
<b>Fig (2.6) :</b> Spectre des ondes électromagnétiques.....	37
<b>Fig (2.7) :</b> Schématisation de la répartition d'un flux incident de rayonnement sur un.....	38
solide	
<b>Fig(3.1) :</b> déperdition par liaisons thermiques.....	43
<b>Fig (4.1) :</b> Histogramme des rayonnements (G, D et d) reçus par une surface horizontale..	55



## Liste

---

### Des figures

<b>Fig(4.2)</b> : Histogramme des rayonnements (G, D, I) reçus par une surface inclinée de 30°.	56
<b>Fig (4.3)</b> : vue principale d'un chauffe eau solaire ST 2000.....	57
<b>Fig (4.4)</b> : Réservoir de stockage.....	58
<b>Fig(4.5)</b> : Installation pour le chauffage.....	60

## Liste

### Des tableaux

---

<b>Tableau 1.1</b> : Répartition de la Durée moyenne d'ensoleillement et l'Energie moyenne reçue à travers le territoire national.....	11
<b>Tableau 1.2</b> : Caractéristique des isolants les plus utilisés (épaisseur 40 mm) .....	16
<b>Tableau 1.3</b> : Caractéristiques thermo-physiques de matériaux métalliques pouvant constituer la plaque de capteurs solaires plans.....	17
<b>Tableau 1.4</b> : Caractéristiques énergétiques des verres (épaisseur 4 mm) .....	18
<b>Tableau 2.1</b> : conductivité thermique de certains matériaux.....	31
<b>Tableau 3.1</b> : Les valeurs des résistances thermiques d'échange superficielles intérieures et extérieures.....	45
<b>Tableau 4.1</b> : relevé des valeurs moyennes mensuelles des durées d'insolation (SS), et durées maximales mensuelles d'insolation (SS <sub>0</sub> ), et fraction d'insolation( $\sigma$ ) pour les années (2001 à 2010).....	54
<b>Tableau 4.2</b> : Valeur de G, D et d pour une surface horizontale.....	54
<b>Tableau 4.3</b> : Valeurs de G, D, d et $\Phi$ pour une surface inclinée.....	55
<b>Tableau 4.4</b> : Caractéristiques du système chauffe eau solaire MEGASUN .....	57
<b>Tableau 4.5</b> : Caractéristiques dimensionnelles de capteur solaire ST 2000.....	58
<b>Tableau 4.6</b> : Rendement du capteur solaire pendant la saison de chauffe.....	59
<b>Tableau 5.1</b> : Emissions de CO <sub>2</sub> produites par les différents combustibles.....	66
<b>Tableau 5.2</b> : Emissions de CO <sub>2</sub> générées par la production d'électricité.....	67

## Nomenclatures

---

Enp 2012

### Lettres latines :

**a** : Azimut du soleil (Degré).

**B<sub>e-c-s</sub>** : Besoin en eau chaude sanitaire (KWh/j).

**C<sub>p</sub>** : Chaleur massique ( j/kg°C)

**D, Q** : Déperdition totale (W).

**DP** : Déperditions par transmission à travers les parois (W).

**DR** : Déperditions par renouvellement d'air (W).

**D, I** : Rayonnement direct (W/m<sup>2</sup>).

**d** : Rayonnement diffus (W/m<sup>2</sup>).

**E** : Constante solaire (W/m<sup>2</sup>).

**G** : Rayonnement global (W/m<sup>2</sup>).

**G\*** : Rayonnement global du ciel clair (W/m<sup>2</sup>).

**GV** : Coefficient de déperditions thermiques (W/°C).

**G** : Coefficient de déperditions volumiques (W/ m<sup>3</sup> °C).

**H** : angle horaire (degré).

**h** : Hauteur du soleil (Degré).

**h<sub>i</sub>** : Coefficient de convection et rayonnement des parois intérieures (W/m<sup>2</sup> °C).

**h<sub>e</sub>** : Coefficient de convection et rayonnement des parois extérieures (W/m<sup>2</sup>°C).

**K** : Coefficient de transmission surfacique (W/m<sup>2</sup> °C).

**L** : longitude (degré).

**M** : L'émittance totale énergétique (W/m<sup>2</sup>).

**n**: Numéro du jour de l'année.

**N** : Nombre d'occupant.

**N<sub>c</sub>** : Nombre de capteurs utilisés.

**N<sub>dj</sub>** : Nombre de degré jour (°C).

**P<sub>c-ecs</sub>** : Les besoins en chauffage et en chaude sanitaire (KWh).

**Q<sub>e</sub>** : L'énergie à fournir pour le chauffage (KWh).

## Nomenclatures

---

Enp 2012

**S<sub>ecs</sub>** : Surface de captage pour l'eau chaude sanitaire (m<sup>2</sup>).

**S<sub>c</sub>** : Surface de captage pour le chauffage (m<sup>2</sup>).

**S<sub>t</sub>** : Surface totale de captage (m<sup>2</sup>).

**SS** : Durée d'insolation (Heure).

**SS<sub>0</sub>** : Durée maximale d'insolation (Heure).

**TSV** : temps solaire vrai TSV (Minute).

**TL** : temps solaire légal (Minute).

**T<sub>be</sub>** : Température extérieure de base (°C).

**T<sub>bi</sub>** : Température intérieure de base (°C).

**T<sub>ec</sub>** : Température d'eau chaude (°C).

**T<sub>ef</sub>** : Température de fourniture d'eau (°C).

**T<sub>p</sub>** : Température de la paroi (°C).

**T<sub>a</sub>** : Température de l'air (°C).

**V** : Volume habitation (m<sup>3</sup>).

**V** : volume d'eau utilisé par occupant par jour (l).

**V<sub>c</sub>** : Volume de stockage pour le chauffage (m<sup>3</sup>).

### **Lettre grecque :**

**α<sub>p</sub>** : Coefficient d'absorption de la plaque absorbante.

**τ<sub>c</sub>** : Coefficient de transmission de la couverture transparente.

**ρ<sub>c</sub>** : Coefficient de réflexion de la plaque absorbante.

**φ** : Latitude (Degré).

**δ** : La déclinaison (Degré).

**σ** : Fraction d'insolation.

**ρ** : Masse volumique (Kg/m<sup>3</sup>).

**Φ** : flux de chaleur (W).

**η** : Rendement du capteur (%).



INTRODUCCION  
GENERALE

### **INTRODUCTION GENERALE :**

Le monde connaît depuis plus d'un siècle un important développement économique. Le développement industriel, l'augmentation du parc automobile et la multiplication des équipements domestiques, ont provoqué une croissance importante de la demande énergétique et pour fournir une énergie propre en quantité suffisante et à un bon prix, constitue de nos jours un impératif majeur pour le développement de toute nation. En effet, l'augmentation de la demande en Energie, la détérioration accélérée de l'environnement liée aux résidus des ressources énergétiques utilisées, posent de sérieux problèmes à l'échelle globale. L'impact socioéconomique de ces problèmes ne peut que s'intensifier à court et moyen terme.

Face aux prévisions d'épuisement inéluctable des ressources mondiales en énergie fossile (pétrole, gaz, charbon...), en énergie d'origine thermonucléaire (uranium, plutonium...), face aux multiples crises pétrolières, économiques, aux changements climatiques dus à l'effet de serre, la science s'est tout naturellement intéressée aux ressources dites " renouvelables " et notamment vers la plus ancienne, le soleil, qui déverse chaque jour l'équivalent de 100 000 milliards de TEP (tonnes équivalent pétrole). Cette valeur est à comparer aux 9,58 milliards de TEP que représente la consommation annuelle mondiale en énergie primaire (1998) [4]. L'idée d'utiliser l'énergie solaire n'est pas nouvelle, depuis longtemps de nombreuses régions dans le monde utilisent des chauffe-eaux rudimentaires, il s'agit de simples réservoirs peints en noir.

La situation de l'Algérie est particulière en tant que producteur d'hydrocarbures, majoritairement du gaz naturel, exportateur très sollicité par les demandes européennes et riche d'un gisement solaire de potentiel incomparable dans sa région et dans le monde. Les stratégies de sa politique peuvent se résumer simplement à déterminer le taux optimum de l'exploitation de ses réserves en hydrocarbures pour alimenter les besoins de son développement socio économique et des investissements destinés à assurer la transition énergétique vers le solaire en particulier.

Les techniques pour en tirer profit de l'énergie solaire ont été grandement améliorées, aujourd'hui il y a plusieurs millions de m<sup>2</sup> de capteurs et de systèmes solaires installés dans le monde utilisant les technologies les plus récentes.

Ainsi l'énergie solaire peut être transformée en chaleur à basse température, par des capteurs plans usant conjointement l'absorption par une surface sélective et l'effet de serre créé par un

# Introduction

---

## Générale

vitrage et servant habituellement à la production d'eau ou d'air chaud. Pour les applications nécessitent de hautes températures des capteurs à concentration sont utilisés.

Aussi l'énergie solaire peut être transformée en électricité par conversion photovoltaïque, de même à la distillation d'eau de mer et au séchage de différents produits, elle peut également être utilisée pour la climatisation en générant des températures froides à partir de la chaleur du soleil par cycle à absorption.

L'utilisation de l'énergie solaire pour le chauffage et la production d'eau chaude sanitaire est devenue un recours intéressant, au vu de la dépense de plus en plus importante induite par le chauffage usuel des habitations.

Le présent travail porte sur une étude comparative entre une installation de chauffage conventionnel et une installation de chauffage solaire appliquée à une maison individuelle, située à Tizi-Ouzou.

Cette étude comporte les chapitres suivants :

- Introduction générale.
- Chapitre 1 : Généralités, les généralités sont présentées en trois parties : la première partie est consacrée au gisement solaire, dans la deuxième partie on parlera de la technologie des capteurs solaire et dans la dernière partie on donnera quelques applications de l'énergie solaire.
- Chapitre 2 : Lois fondamentales de transmission de chaleur, dans ce chapitre sont présentées les fameuses lois de transfert de chaleur.
- Chapitre 3 : Calcul des déperditions thermiques, le calcul des déperditions thermiques s'effectue à l'aide des équations adéquates bien spécifiques dans le calcul des déperditions dans le bâtiment.
- Chapitre 4 : Dimensionnement, le dimensionnement de l'installation est le calcul des surfaces de captage et les volumes de stockage nécessaires pour répondre aux besoins en énergie.
- Chapitre 5 : Etude économique et impact environnemental, dans ce chapitre on essayera de réaliser une comparaison économique et environnementale entre les systèmes étudiés
- Conclusion générale.



CHAPITRE 1:  
GENERALITES



## INTRODUCTION :

L'énergie solaire représente une source importante pour tous les potentiels énergétiques renouvelables. C'est le rayonnement émis dans toutes les directions par le soleil, et que la Terre reçoit à raison d'une puissance moyenne de 1,4 kW/m<sup>2</sup>, pour une surface perpendiculaire à la direction terre-soleil. Ce flux solaire a été atténué lors de la traversée de l'atmosphère par absorption ou diffusion, suivant les conditions météorologiques et la latitude du lieu au niveau du sol.

Afin d'exploiter au mieux cette ressource énergétique et pour un bon dimensionnement des installations solaires, il est nécessaire de connaître la quantité de l'énergie solaire disponible en un endroit bien spécifique à chaque instant de la journée et de l'année.

Dans cette première partie de ce chapitre on donnera les lois du rayonnement solaire, les variables astronomiques sur le soleil et la terre et on expliquera les phénomènes atmosphériques et leurs influences sur l'énergie recueillie.

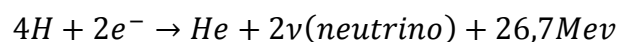
En second lieu, dans la deuxième partie on parlera de la technologie des capteurs solaires utilisée pour bien exploiter l'énergie solaire thermique.

## PARTIE 1 :

### 1.1 Gisement solaire :

#### 1.1.1 Le soleil, description : [1]

La réalité solaire correspond à l'existence d'une étoile, véritable sphère gazeuse, hétérogène, de diamètre 1,39 Méga kilométrés (Mkm), de masse  $2 \cdot 10^{27}$  tonnes de densité moyenne  $1.41 \text{ g/cm}^3$  située à 149,45 Mkm de la terre. Toute l'énergie du Soleil provient des réactions thermonucléaires de fusion qui s'y produisent et qui sont schématisées par le cycle de **BETHE** :



Elles transforment à chaque seconde 564.106.000 tonnes d'hydrogène H en 560.106.000 tonnes d'Hélium He. La différence de 4 millions de tonnes est dissipée sous forme d'énergie ( $E=mc^2$ ), ce qui représente une énergie totale de  $36 \cdot 10^{22}$  Kw.

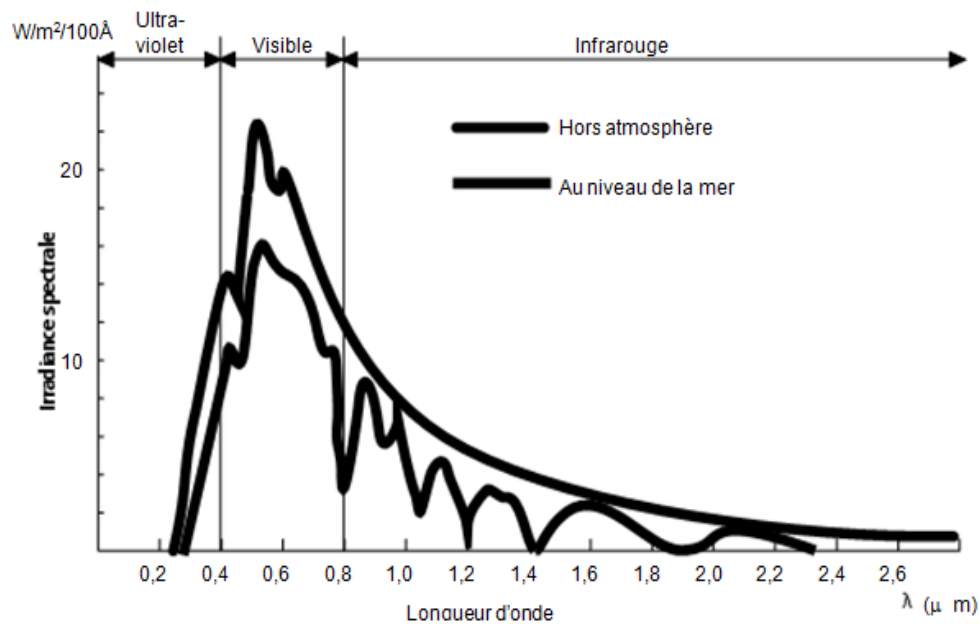
Qualitativement, le soleil est formé de 4 parties :

- a) **Un noyau de plasma** : siège des réactions thermonucléaires donnant lieu à l'énergie dégagée par le Soleil sous forme de rayonnement. Ce plasma est porté à une température de 10 Mégakelvin sous une pression de 1000 Mégabar.
- b) **La photosphère** : est la première couche, dont provient 99% de la lumière, de l'atmosphère solaire. C'est une zone d'environ 500 km d'épaisseur où la température décroît avec l'altitude de 5800k à 4200k (température calculée à partir de la loi de WIEN : la photosphère rayonnant approximativement comme un corps noir).  
Nous observerons dans cette région tout un réseau de cellules de granulation quasi- circulaires de rayons variant entre 800 et 30 000 km constituant le sommet des cellules de convection sous-jacentes
- c) **La chromosphère**: est un milieu très hétérogène, composé de structures diverses telles que les spicules, les fibrilles, les protubérances et les filaments qui s'étendent sur des hauteurs de plusieurs milliers de kilomètres qui s'étend de 500 à 2000 km d'altitude. Visible comme un fin liseré rougeâtre autour du Soleil lors des éclipses totales de Soleil, la particularité essentielle de cette couche de l'atmosphère du Soleil est que la température croît avec l'altitude, passant de 4 200K à près de 10 000K. Cette croissance de la température avec la distance au Soleil reste l'un des grands mystères de la physique solaire actuelle.
- d) **La couronne** : la couronne est le nom que l'on donne à l'ensemble de l'atmosphère extérieure du Soleil qui s'étend jusque dans le milieu interplanétaire. C'est un milieu très peu dense dont la température atteint quelques deux millions de Kelvin. Ce très fort gradient de température entre la chromosphère et la couronne se produit dans la région de transition dont l'épaisseur a été évaluée à quelques centaines de kilomètres. La couronne est souvent le siège de phénomènes violents comme les éruptions, ou comme les éjections de masse coronale, « bulles » de matière coronale qui s'envolent dans le milieu interplanétaire.

Le Soleil émet un rayonnement électromagnétique compris dans une bande de longueur d'onde variant de 0,22 à 10 microns ( $\mu\text{m}$ ). La figure (1.1) représente la variation de la répartition spectrale énergétique. L'énergie associée à ce rayonnement solaire se décompose approximativement ainsi :

- 9 % dans la bande des ultraviolets ( $<0,4 \mu\text{m}$ ),
- 47 % dans la bande visible ( $0,4 \text{ à } 0,8 \mu\text{m}$ ),

- 44 % dans la bande des infrarouges ( $>0,8 \mu\text{m}$ ).



**Fig (1.1)** Analyse spectrale du rayonnement solaire [2]

### 1.1.2 Constante solaire :

La valeur du flux de rayonnement solaire  $E$  reçu par une surface perpendiculaire aux rayons solaires placée à la limite supérieure de l'atmosphère terrestre varie au cours de l'année avec la distance terre/soleil. Sa valeur moyenne  $E_0$  est appelée la constante solaire, elle vaut  $E_0 = 1353 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ . Au début des années 1970, des mesures précises effectuées par les satellites ont permis de donner ses variations au cours de l'année (1363 à  $1371 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ ) [3]. L'Organisation Météorologique Internationale (OMI) a retenu comme constante solaire standard :

$$E = 1367 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

### 1.1.3 Déclinaison solaire :

La déclinaison est l'angle que fait le soleil au maximum de sa course (midi solaire) par rapport au plan équatorial. Sa valeur en degrés, est donnée par l'équation de Cooper [4]:

$$\delta = 23,45 \sin\left(2\pi \frac{284+n}{365}\right) \quad (1.1)$$

où  $n$  est le jour de l'année (c.-à-d  $n = 1$  pour le 1<sup>er</sup> janvier,  $n = 32$  pour le 1<sup>er</sup> février, etc).

La déclinaison varie entre  $-23,45^\circ$  le 21 décembre et  $+23,45^\circ$  le 21 juin.

#### 1.1.4 Latitude ( $\varphi$ ) et longitude (L): [5]

##### ➤ La latitude $\varphi$ :

Permet de repérer la distance angulaire d'un point quelconque à l'équateur. Elle varie de  $0^\circ$  (équateur) à  $+90^\circ$  pour l'hémisphère Nord et de  $0^\circ$  (équateur) à  $-90^\circ$  pour l'hémisphère Sud.

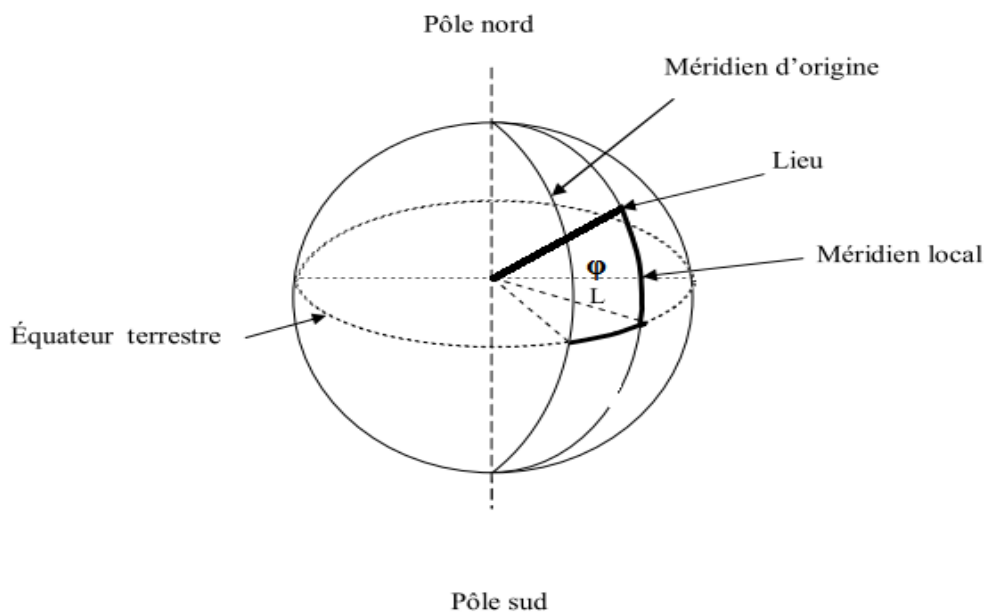


Fig (1.2) Coordonnées terrestre d'un lieu

##### ➤ Longitude : L

L'origine des longitudes est Greenwich en Angleterre :  $0^\circ$

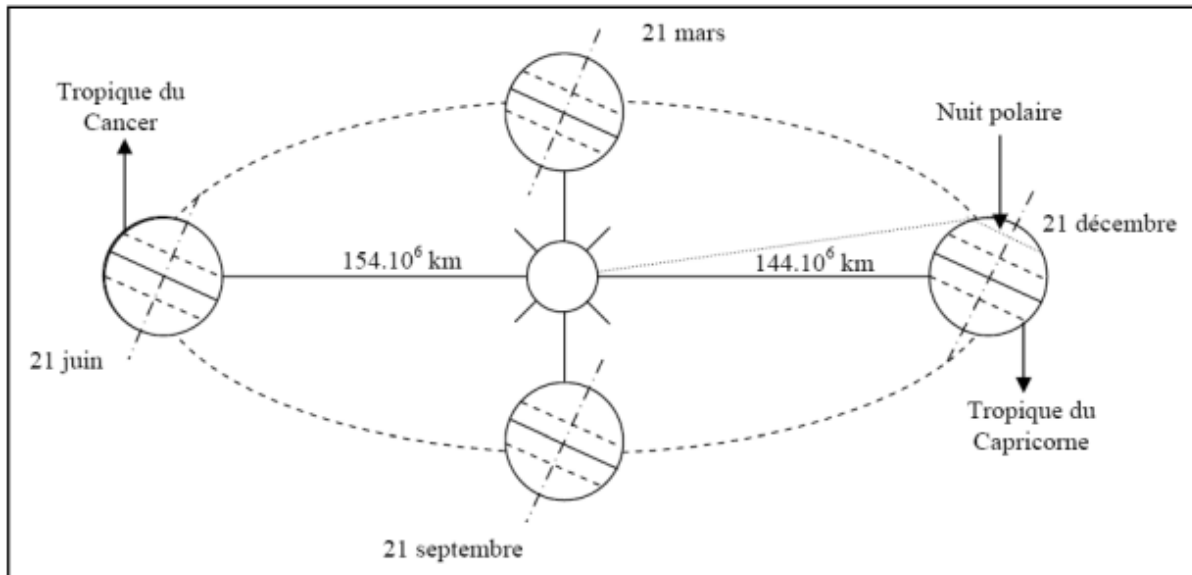
Les lieux situés à l'Est sont comptés positivement avec le signe plus (+) et ceux situés à l'Ouest sont comptés négativement avec le signe moins (-).

L'arc de cercle qui joint le pôle Nord Greenwich et le pôle sud est le méridien origine. Il existe 23 méridiens séparés chacun de  $15^\circ$  ( $24 \times 15 = 360^\circ$ ).

#### 1.1.5 Mouvements de la terre :

La trajectoire de la Terre autour du Soleil est une ellipse dont le Soleil est l'un des foyers. Le plan de cette ellipse est appelé l'écliptique. L'excentricité de cette ellipse est faible, ce qui fait que la distance Terre/Soleil ne varie que de  $\pm 1,7\%$  par rapport à la distance moyenne qui est de 149 675 106 km.

La Terre tourne également sur elle-même autour d'un axe appelé l'axe des pôles. Le plan perpendiculaire à l'axe des pôles et passant par le centre de la Terre est appelé l'équateur. L'axe des pôles n'est pas perpendiculaire à l'écliptique : l'équateur et l'écliptique font entre eux un angle appelé inclinaison et qui vaut  $23^{\circ}27'$ . Les mouvements de la Terre autour de son axe et autour du Soleil sont schématisés sur la figure (Fig (1.3))



Fig(1.3) Mouvements de la terre [6]

### 1.1.6 La position du soleil : [7]

La position du soleil est repérée à chaque instant de la journée et de l'année par deux systèmes de coordonnées différents :

➤ **Les coordonnées équatoriales :**

Le mouvement du soleil est repéré par rapport au plan équatorial de la terre par deux angles ( $\delta$ , H).

$\delta$  : Déclinaison du soleil donnée précédemment.

**Angle horaire du soleil « H » :**

C'est l'angle compris entre la méridienne origine passant par sud et la projection du soleil sur le plan équatorial, il mesure la course du soleil dans le ciel. Il est exprimé par la relation suivante :

$$H = 15 (TSV - 12) \tag{1.2}$$

TSV : Temps soleil vrai

$$\text{L'angle « H » vaut : } \begin{cases} H = 0^{\circ} \text{ à } 12^h \\ H = 90^{\circ} \text{ à } 18^h \\ H = -90^{\circ} \text{ à } 6^h \end{cases}$$

DE est le décalage horaire par rapport à Greenwich

TSV est égal au temps légal corrigé par un décalage du à l'écart entre la longitude du lieu et la longitude de référence.

$$TSV = TL - DE + \left( \frac{E_t + 4\lambda}{60} \right) \quad (1.3)$$

$$E_t = 9.87 \sin(2N) - 7.35 \cos(N) - 1.25 N \quad (1.4)$$

$$N' = \frac{360}{365} (N - 81) \quad (1.5)$$

$TL$  : Temps légal (donné par la montre).

$E_t$  : Correction de l'équation du temps.

$\lambda$  : Longitude du lieu.

➤ **Les coordonnées horizontales :**

Le repère horizontal est formé par le plan de l'horizon astronomique et la verticale du lieu.

Dans ce repère les coordonnées sont la hauteur « h » et l'azimut « a ».

**Hauteur du soleil « h » :**

C'est l'angle formé par la direction du soleil et sa projection sur le plan horizontal.

Il est particulièrement égal à :

0° au levé et couché astronomique du soleil.

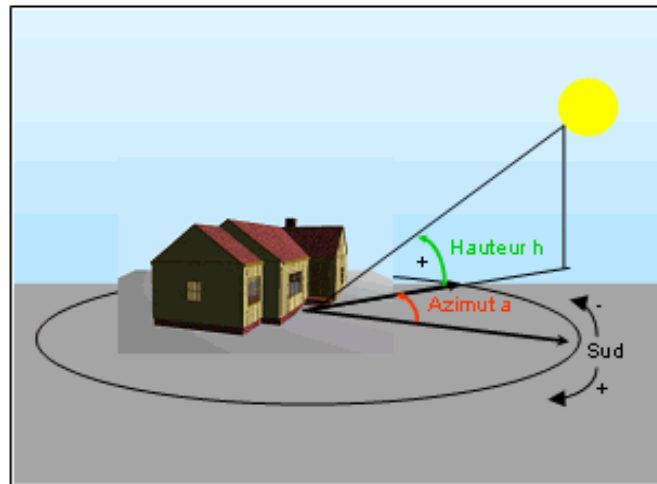
90° à midi temps soleil vrai.

$$\sin(h) = \cos(\delta) \cos(\varphi) \cos(H) + \sin(\varphi) \sin(\delta) \quad (1.6)$$

**Azimut du soleil « a » :**

C'est l'angle compris entre la projection de la direction du soleil sur le plan horizontal et la direction du sud. La relation qui donne l'azimut « a » est la suivante :

$$\sin(a) = \frac{\cos(\delta) \sin(H)}{\cos(h)} \quad (1.7)$$



Fig(1.4) Repérage de la position du soleil dans le ciel

### 1.1.7 Durée d'insolation :

L'insolation ou la durée d'ensoleillement est un paramètre temporel caractérisant le rayonnement solaire. Elle représente pour une journée la somme des intervalles de temps auxquels l'intensité du rayonnement solaire a dépassé un seuil de  $100\text{W/m}^2$ , il est représenté par (SS).

#### 1.1.7.1 Insolation potentielle (théorique) :

L'insolation potentielle ou théorique ( $SS_0$ ) est la valeur de l'insolation pour le jour considérée en l'absence d'atmosphère, elle ne dépend que de la position géographique du lieu.

$$SS_0(n) = \frac{2}{15} \arccos(-\tan \varphi \cdot \tan \delta) \quad (1.8)$$

Avec : n : nombre du jour.

$\varphi$  : la latitude du lieu.

$\delta$  : la déclinaison solaire.

#### 1.1.7.2 Fraction d'insolation :

La fraction d'insolation  $\sigma$ , est un paramètre très représentatif des conditions climatiques de nébulosité du ciel. La nébulosité est le rapport entre la surface du ciel couverte par les nuages et la surface totale du ciel au dessus du territoire correspondant.

Cette notion n'étant que descriptive, on la relie à la fraction d'insolation qui est une grandeur mesurable dès qu'on connaît les durées d'insolation enregistrées par les héliographes qui s'en déduits par le rapport suivant :

$$\sigma = \frac{SS}{SS_0} = \frac{\text{durée d'insolation}}{\text{durée maximale d'insolation}} \quad (1.9)$$

**1.1.8 Rayonnement solaire au sol : [8]**

➤ **Rayonnement direct :**

C'est le rayonnement qui traverse l'atmosphère sans subir des modifications.

Nous écrivons le flux direct perpendiculairement aux rayons solaires de la manière suivante :

$$I = E C A \exp\left(\frac{-B}{\sin h}\right) \quad (1.10)$$

Avec :

$$\left\{ \begin{array}{l} E: \text{constante solaire} = 1367 \text{ W/m}^2 \\ C: \text{coefficient de distance terre - soleil} \\ C = 1 + 0,034 \cos(30(m - 1) + n) \\ m \text{ et } n: \text{disignent respectivement le numéro du mois et du jour} \\ h: \text{hauteur du soleil sur l'horizon} \\ A, B: \text{coefficients de trouble} \end{array} \right.$$

Le flux direct sur la paroi d'observation est donc :

$$D = I \cos i = E C A \exp\left(\frac{-B}{\sin h}\right) \cdot \cos i \quad (1.11)$$

Où :  $i$  : angle d'incidence

	Ciel très pur	Conditions normales	Zone industrielle
$A$	0,87	0,88	0,91
$B$	0,17	0,26	0,43

➤ **Rayonnement diffus:**

C'est une partie non négligeable du rayonnement solaire, elle représente environ 15% de la valeur du rayonnement direct sur un plan horizontal [8].

Le flux diffus sur une surface horizontale sera donc donné par la formule suivante :

$$d = E C \sin h \left[0,271 - 0,2939 A \exp\left(\frac{-B}{\sin h}\right)\right] \quad (1.11)$$

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

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

$$G = D + d \quad (1.12)$$

Pendant la journée, la surface de la Terre reçoit une quantité importante d'énergie solaire (environ 0,9 kW/h/m<sup>2</sup>). L'énergie reçue varie avec l'heure du jour, l'époque de l'année, la latitude, la couverture nuageuse de l'atmosphère et la direction de la surface absorbante par rapport au soleil



### 1.1.9 Potentiel solaire en Algérie :

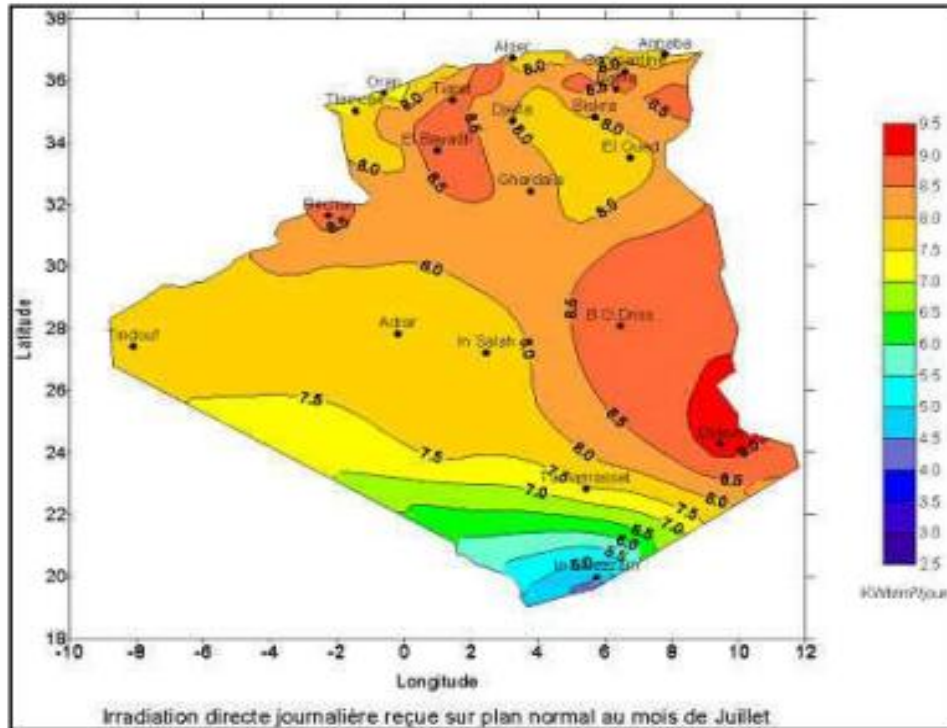
L'Algérie possède un gisement solaire parmi les plus élevés dans le monde, la durée moyenne d'ensoleillement dans le Sahara algérien est de 3500 heures, ce potentiel peut constituer un facteur important de développement durable dans cette région, s'il est exploité de manière économique, le tableau ci-dessous indique le taux d'ensoleillement pour chaque région de l'Algérie.

De par sa situation géographique, la durée d'insolation sur la quasi-totalité du territoire national dépasse les 2000 heures annuellement et peut atteindre les 3900 heures/an (hauts plateaux et Sahara). L'énergie reçue quotidiennement sur une surface horizontale de  $1\text{m}^2$  est de l'ordre de 5 KWh sur la majeure partie du territoire national, soit près de  $1700\text{KWh}/\text{m}^2/\text{an}$  au Nord et  $2263\text{ kWh}/\text{m}^2/\text{an}$  au Sud du pays. [9]

**Tableau 1.1** Répartition de la Durée moyenne d'ensoleillement et l'Energie moyenne reçue à travers le territoire national

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

Ce gisement solaire dépasse les 5 milliards de GWh (**Tableau 1.1**)



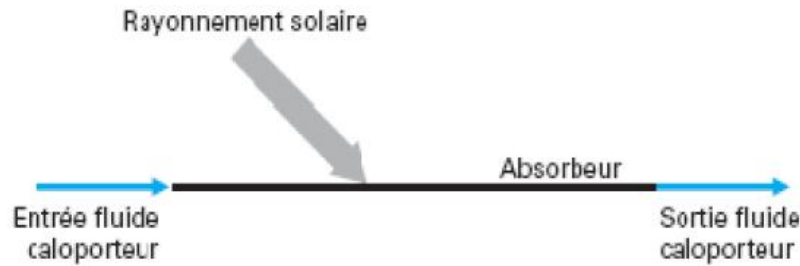
**Fig (1.5)** Potentiel solaire en Algérie

## **PARTIE 2 :**

### **1.2 Technologie des systèmes solaire :**

#### **1.2.1 Principe des capteurs solaires thermiques :**

Les capteurs solaires thermiques constituent le cœur des installations destinées à transformer l'énergie transmise par le soleil en chaleur. Le rayonnement solaire est absorbé par une surface noire, parcourue par un fluide caloporteur qui extrait l'énergie thermique et la transfère vers son lieu d'utilisation ou de stockage. La plupart des capteurs sont munis d'une couverture transparente qui laisse passer la plus grande partie du rayonnement solaire et évite le refroidissement de l'absorbeur. Les échanges par convection entre celui-ci et la couverture transparente sont réduits, de même que l'émission du rayonnement infrarouge de l'absorbeur. C'est le principe de « l'effet de serre ». Une isolation thermique est disposée à l'arrière et sur la périphérie du capteur pour limiter les déperditions par conduction.

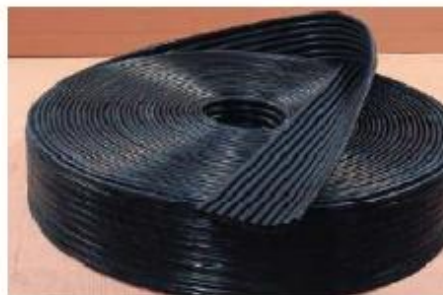


**Fig (1.6)** principe de fonctionnement d'un capteur thermique [10]

## 1.2.2 Capteurs thermiques à basse température : [1]

### 1.2.2.1 Capteur plan sans vitrage :

Les capteurs plans sans vitrage sont ordinairement faits de plastique polymère noir lorsque l'ensoleillement est élevé. Normalement, ils n'ont pas de revêtement sélectif et n'ont ni cadre ni isolation en arrière. Ils sont simplement posés sur un toit ou sur un support en bois. Ces capteurs de faible coût captent bien l'énergie solaire abondante ; cependant les pertes thermiques vers l'environnement augmentent rapidement avec la température de l'eau, particulièrement dans les endroits venteux.



**Fig (1.7)** capteur plan non vitré

Le principal domaine d'utilisation de ce capteur est le chauffage des piscines de plein air. Celles-ci sont le plus souvent utilisées en été, lorsque la température ambiante et le rayonnement solaire sont élevés. Dans ces conditions, l'efficacité des capteurs est très bonne.

Les capteurs sans vitrage peuvent également être utilisés pour des installations de production d'eau chaude sanitaire (fig (1.8)). C'est en particulier le cas dans des régions chaudes et fortement ensoleillée. La parfaite intégration architecturale qu'autorise ce type de produit permet la mise en œuvre de surfaces plus importantes, pour compenser la différence d'efficacité avec des capteurs vitrés, en particulier l'hiver.



**Fig (1.8)** Installation de production d'eau chaude sanitaire [10]

### 1.2.2.2 Capteur plan vitrés :

Les capteurs munis d'une couverture transparente, souvent appelés « capteurs vitrés », sont les plus utilisés, car ils correspondent au domaine d'application le plus courant : le chauffage de l'eau sanitaire. La température d'utilisation est en général inférieure à 70°C. Plus rarement, certains d'entre eux, munis d'une couverture transparente de type « double vitrage », permettent d'atteindre des températures de fonctionnement de l'ordre de 100°C (fig(1.9)).

Le capteur vitré est constitué de différents composants :

- Le coffre.
- L'isolation thermique.
- L'absorbeur.
- La couverture transparente.
- Le fluide caloporteur.

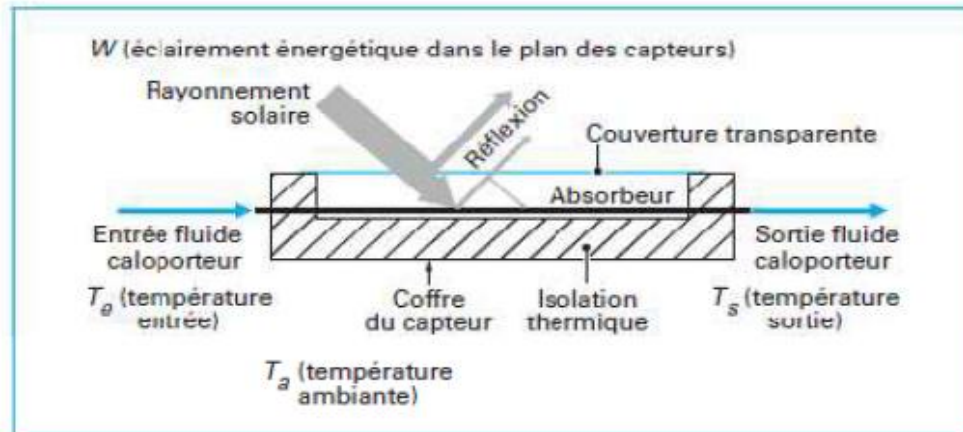


Fig (1.9) Coupe d'un capteur plan vitré

#### 1.2.2.2.1 Le coffre :

Il assure la protection à l'arrière du capteur et participe à sa rigidité.

On peut distinguer deux grands principes de construction :

- les coffres monoblocs (par exemple en tôle pliée ou en matériaux composites) dont la géométrie assure la tenue mécanique de l'ensemble du capteur.
- les ensembles constitués de profilés périphériques (souvent en aluminium) sur lesquels est fixée une protection (feuille de métal ou de matière plastique) qui assure l'étanchéité arrière.

Les matériaux les plus utilisés, pour constituer le fond du coffre, sont le métal (tôle d'acier ou d'aluminium) et les matières plastiques (ABS, poly (acrylonitrile-butadiène-styrène), polyester). Ils doivent présenter les caractéristiques suivantes : bonne tenue à la corrosion, faible prix de revient, transformation facile.

Les points de fixation des capteurs sur leurs supports font partie le plus souvent du coffre du capteur. Ces éléments doivent permettre de résister aux efforts à l'arrachement induits par le vent.

#### 1.2.2.2.2 Isolation thermique :

L'isolation thermique (arrière et latérale) évite les déperditions thermiques du capteur par conduction. Elle est constituée d'un matériau isolant qui, dans certains cas, participe à la tenue mécanique du capteur.

Dans un capteur solaire, l'isolation thermique est soumise à de très fortes contraintes. En effet, lorsque le capteur est exposé à un fort ensoleillement sans circulation de fluide caloporteur, l'absorbeur peut atteindre des températures très élevées, supérieures à 150°C. Ce phénomène, s'il se reproduit régulièrement, peut entraîner la destruction des isolants courants tels que les mousses de polyuréthane. Le polystyrène expansé, dont la température limite

d'utilisation est nettement inférieure à 100°C. Dans tous les cas, il est préférable d'éviter un contact direct entre l'absorbeur et l'isolant.

Les seuls isolants résistants à ces températures sont les mousses phénoliques, peu courantes et chères, et les laines minérales (laine de verre et surtout laine de roche qui présente l'avantage de ne pas absorber l'humidité).

Les coefficients de conductivité  $\lambda$  et les déperditions pour une épaisseur d'isolant de 40 mm sont donnés dans le tableau 2 pour les matériaux isolants les plus utilisés.

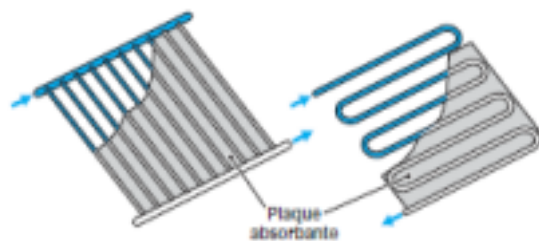
**Tableau 1.2 :** Caractéristique des isolants les plus utilisés (épaisseur 40 mm) :

Matériaux	$\lambda$ (W.m <sup>-1</sup> .k <sup>-1</sup> )	Déperdition (W.m <sup>-2</sup> )
Mousse de polyuréthane	0.030	0.75
Laine de verre	0.040	1.00

### 1.2.2.2.3 Absorbeur :

L'absorbeur est le composant qui permet de transformer le rayonnement solaire en chaleur et de transférer l'énergie thermique ainsi produite à un fluide caloporteur.

L'absorbeur est généralement constitué d'un réseau de tubes soudés ou fixés mécaniquement sur une plaque conductrice fig (1.10)



**Fig(1.10)** Absorbeurs sous forme d'échelle et de serpentin

Le matériau constituant la plaque de l'absorbeur peut être soit métallique, soit plastique. Dans le cas des métaux on utilise couramment le cuivre, l'aluminium ou bien l'acier inoxydable, l'emploi de matière plastique entraîne des différences notables mais il a des inconvénients énormes.

**Tableau 1.3 :** Caractéristiques thermo-physiques de matériaux métalliques pouvant constituer la plaque de capteurs solaires plans : [11]

Métal	Conductivité thermique $\lambda$ (W/m.K)	Chaleur massique $C_p$ (J/Kg.K)	Masse volumique $\rho$ (Kg/m <sup>3</sup> )	Diffusivité $a = \frac{\lambda}{\rho c_p} (10^{-6} \frac{m}{s})$
Cuivre	384	398	8900	108
Acier inoxydable	14	460	7800	4
Aluminium	204	879	2700	86

#### 1.2.2.2.4 Couverture transparente :

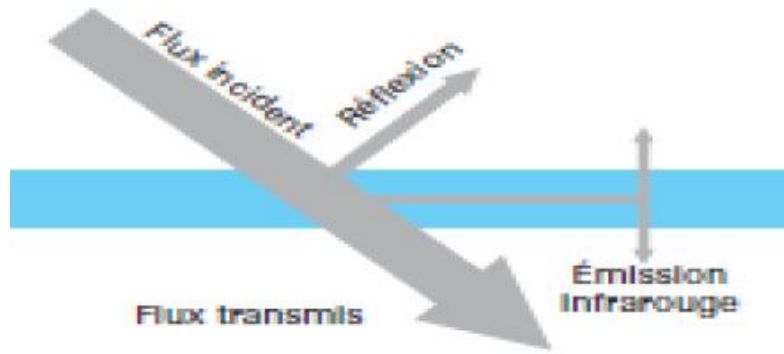
Elle a la double fonction de laisser passer le maximum de rayonnement solaire et d'éviter le refroidissement de l'absorbeur, en réduisant les phénomènes de convection de l'air et en bloquant le rayonnement infrarouge (effet de serre).

Les matériaux les plus utilisés sont le verre trempé (pour réduire les risques d'accident en cas de bris). Les matériaux de synthèse (polycarbonate, fluorure de polyvinyle), qui ont été utilisés dernièrement, ont presque complètement disparu pour des raisons de prix et de tenue au vieillissement. Des travaux sont toujours en cours dans quelques centres de recherche, pour introduire à nouveau ce type de matériaux.

Le vitrage est fixé sur le coffre du capteur soit de façon mécanique (joint d'étanchéité et par close), soit collé directement sur le coffre. C'est cette dernière solution qui est mise en œuvre sur les capteurs de conception récente. La transmission énergétique correspond au pourcentage du flux d'énergie solaire transmis directement à travers le verre.

Une partie du rayonnement solaire est réfléchi par les parois du vitrage, tandis qu'une autre partie est absorbée par celui-ci, transformée en chaleur en entraînant une augmentation de sa température.

Le vitrage émet alors sur ses deux faces un rayonnement infrarouge. Le facteur solaire (ou transmission énergétique totale) représente la somme des transmissions optiques et infrarouges (fig (1.11)).



**Fig (1.11)** Facteurs énergétiques d'un vitrage

On notera également l'utilisation de vitrages à basse teneur en oxyde de fer, ces vitrages présentent des caractéristiques optiques légèrement supérieures aux vitrages standards.

**Tableau 1.4** : Caractéristiques énergétiques des verres (épaisseur 4 mm) :

Nature	Transmission Énergétique %	Réflexion énergétique %	Absorption énergétique %	Facteur solaire %
Verre claire	83	8	9	85

Les valeurs indiquées dans le Tableau 4 s'entendent pour des vitrages d'une épaisseur de 4 mm qui sont le plus souvent utilisés.

#### 1.2.2.2.5 Le fluide caloporteur :

Pour évacuer la chaleur emmagasinée par la surface absorbante, on utilise habituellement soit l'air, soit l'eau.

Par rapport à l'eau, l'air a les avantages suivants:

- Pas de problème de gel l'hiver ou d'ébullition l'été lorsque le soleil "tape" fort.
- Avec de l'air sec, il n'y a pas de problème de corrosion.
- Toute fuite est sans conséquence.
- Il n'est pas nécessaire d'utiliser un échangeur de chaleur dans le cas du chauffage de locaux.
- Le système à mettre en œuvre est plus simple et plus fiable

Mais son utilisation entraîne les inconvénients suivants :

- L'air ne peut servir qu'au chauffage des locaux.
- Le produit de la masse volumique  $\rho$  par la chaleur spécifique  $C_p$  est faible :  
 $\rho \cdot C_p = 1225 \text{ J/m}^3 \cdot \text{K}$  pour l'air contre  $4,2 \cdot 10^6 \text{ J/m}^3 \cdot \text{K}$  pour l'eau.



Les conduites doivent avoir une forte section pour laisser passer un débit suffisant compte tenu du point précédent

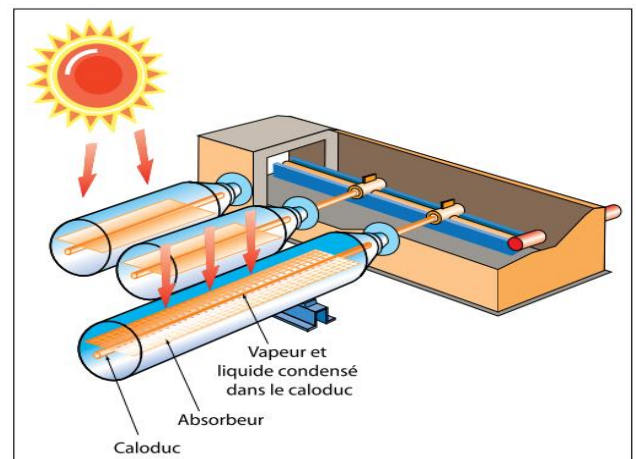
- Les transferts thermiques sont moins bons qu'avec l'eau

### 1.2.2.3 Capteur sous vide : [10]

Lorsque la température de fonctionnement du capteur est très élevée ( $> 100^{\circ}\text{C}$ ) ou lorsque la température ambiante est faible (région de montagne), il est intéressant d'utiliser un capteur solaire dit « sous vide », qui se présente sous la forme de tubes de faible diamètre (jusqu'à une quinzaine de centimètres) dans lesquels sont disposés les absorbeurs, de conception identique à celle d'un capteur plan. L'intérieur du tube est vidé de l'air qu'il contient et des pertes par convection entre l'absorbeur et la paroi vitrée du tube sont ainsi supprimées. Le capteur sous vide voit ainsi ses déperditions limitées au rayonnement infrarouge. Pour limiter les effets de celui-ci, la surface de l'absorbeur possède un revêtement « sélectif ». (fig (1.12) et. (1.13)).



**Fig (1.12)** Capteur sous vide



**Fig (1.13)** Coupe d'un capteur sous vide

### 1.2.3 Les concentrateurs solaires : [5]

La concentration s'obtient par la réflexion du rayonnement du solaire sur des formes géométriques planes ou courbes qu'on appelle miroir solaire. Les rayons dérivés se concentrent dans la zone focale, ainsi l'énergie reçue par unité de surface dans cette zone sera beaucoup plus importante.

Le facteur de concentration dépend du diamètre apparent du Soleil qui varie avec les saisons, de la position de réglage du système sur le Soleil.

### 1.2.3.1 Les capteurs solaires paraboliques :

Le capteur solaire parabolique est un miroir qui réfléchit les rayons du soleil sur un point de convergence.

Les progrès réalisés ont permis d'atteindre des rendements dépassant ceux des autres technologies.

Le miroir parabolique réfléchit les rayons du soleil vers un point de convergence, le rayonnement solaire est alors concentré sur le récepteur qui monte en température ; le récepteur est un moteur Stirling qui fonctionne grâce à la montée en température et en pression d'un gaz contenu dans une enceinte fermée ; celui-ci convertit l'énergie solaire thermique en énergie mécanique et ensuite en électricité.

Tout au long de la journée, le socle de la parabole s'oriente automatiquement face au soleil pour suivre sa course et ainsi profiter d'un ensoleillement maximum.

Les systèmes à réflecteur parabolique peuvent atteindre 1 000 °C sur le récepteur, et parvenir à des rendements optimaux de conversion de l'énergie solaire en électricité en utilisant une faible quantité d'énergie.

La performance de l'ensemble du système est étroitement liée à la qualité optique de la parabole et au rendement du moteur Stirling.



**Fig (1.14) Capteur parabolique avec moteur Stirling [12]**

### Le concentrateur :

Le concentrateur solaire est composé d'une surface réfléchissante de verre ou de plastique et concentre le rayonnement incident à son foyer. Sa taille dépend évidemment de la puissance

solaire requise. Comme ordre de grandeur, 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>.

### Le récepteur :

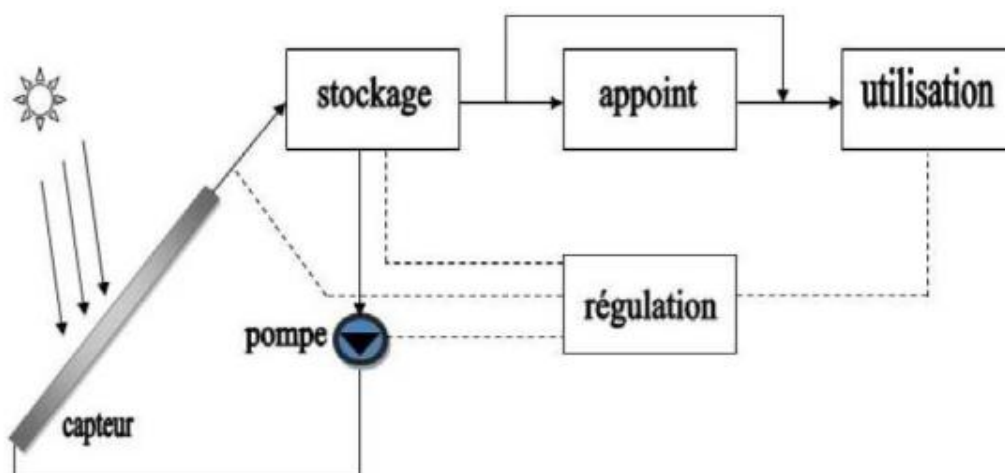
Le récepteur absorbe l'énergie réfléchi par le concentrateur et la transfère au fluide de travail du cycle de puissance.

Dans le cas du moteur Stirling, le flux de chaleur transmis est intermittent, ce qui pose des problèmes de fatigue par dilatation thermique. Pour répondre à ce problème, un fluide intermédiaire (le plus souvent du sodium) est parfois utilisé entre le récepteur et le moteur Stirling. L'efficacité du transfert de chaleur atteint 90%.

## **PARTIE 3 :**

### **1.3 Application du capteur plan à basse température :**

On s'intéresse à l'utilisation du capteur plan sachant que les températures que l'on peut obtenir avec un tel élément sont limitées. Le chauffage d'habitation ou de piscine et la production d'eau chaude sanitaire (ECS) sont les applications privilégiées de l'énergie solaire basse température. On peut aussi envisager la climatisation des locaux, la distillation d'eau saumâtre, le séchage des produits agricoles. Tout système solaire comporte en général cinq éléments de base comme représenté à la figure ci-dessous.



**Fig (1.15)** Schéma de principe d'une installation solaire basse température [11]

Pour certaines applications il n'est pas nécessaire d'utiliser et /ou de prévoir un système fournissant de l'énergie d'appoint.

Dans la plupart des cas les paramètres climatiques à prendre en compte sont :

L'irradiation solaire, les caractéristiques de l'air ambiant (température, humidité) et celles de l'eau du réseau. Une des principales difficultés d'un tel système est la gestion du stockage de l'énergie.

L'apport énergétique solaire est variable dans le temps alors que les besoins sont en général beaucoup plus réguliers. En fonction de ceux-ci la température du stockage varie dans le temps. [11]

### 1.3.1 Eau chaude sanitaire :

Une des applications principales de l'énergie solaire basse température est le chauffage d'eau en vue d'un usage domestique. La température de l'eau chaude sanitaire (ECS) est en effet relativement réduite (60°C environ) et les capteurs solaires plans conviennent bien à ce type de production d'eau chaude.

On trouve principalement deux sortes d'installations : le système à thermosiphon (ou direct) et le système à circulation forcée. Notons qu'il n'est pas nécessaire, dans les régions fortement ensoleillées, de réaliser un système avec un matériel spécialisé. Un simple réservoir cylindrique placé en toiture et peint de couleur foncé peut servir à la fois de capteur solaire et de stockage d'eau chaude. Une arrivée d'eau froide et un départ d'eau chaude vers l'utilisation suffisent.

- **Système direct :**

Dans ce système, simplifié à l'extrême, c'est l'eau chaude sanitaire (ECS) qui circule elle-même dans le capteur. Cette circulation s'effectue par thermosiphon : l'eau en passant dans le capteur s'échauffe et, devenant moins dense, crée une dépression qui aspire l'eau plus dense qui entre dans le capteur. Il faut veiller cependant à ce que la perte de charge du circuit ne soit pas trop importante. Un tel système est schématisé à la fig (1.15).

Ce système impose d'installer le ballon de stockage plus haut que le capteur. Celui-ci étant souvent placé en toiture, le ballon de stockage devient le point le plus haut de l'habitation ce qui n'est pas nécessairement recherché. Cette contrainte peut en effet être inacceptable pour des raisons esthétiques.

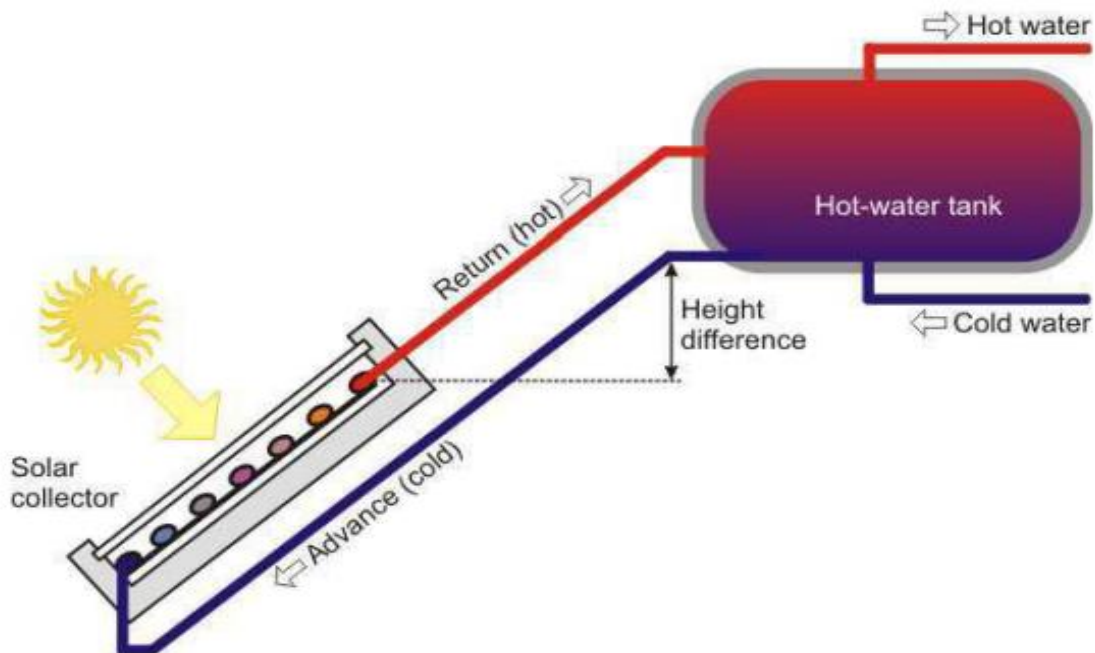
Pour éviter les pertes thermiques en ligne, il faut veiller à réduire les distances séparant les différents organes. Une bonne isolation thermique des canalisations est recommandée.

Il ne faut pas oublier de prévoir un vase d'expansion pour encaisser les variations de volume de l'eau du circuit avec la température.

L'inconvénient de ce système est qu'on ne peut pas régler le débit du fluide caloporteur. Or, comme on l'a dans ce chapitre, celui-ci influe sur la température  $T_{fs}$  de sortie du fluide caloporteur et par suite sur le rendement de l'installation.

Un tel système a pour avantage principal sa simplicité mais on doit faire attention au risque d'entartrage des canalisations qui sont parcourues par de l'eau ne pouvant être traitée.

Pour cette même raison il faut veiller à vidanger le circuit lors des périodes de gel. Si ces contraintes sont trop gênantes, il faut prévoir un échangeur de chaleur dans le ballon de stockage. Un échangeur aura un bon rendement si le débit qui le traverse est suffisamment élevé. Or la circulation par thermosiphon ne peut fournir des débits élevés ce qui limite l'efficacité de l'échangeur. [11]

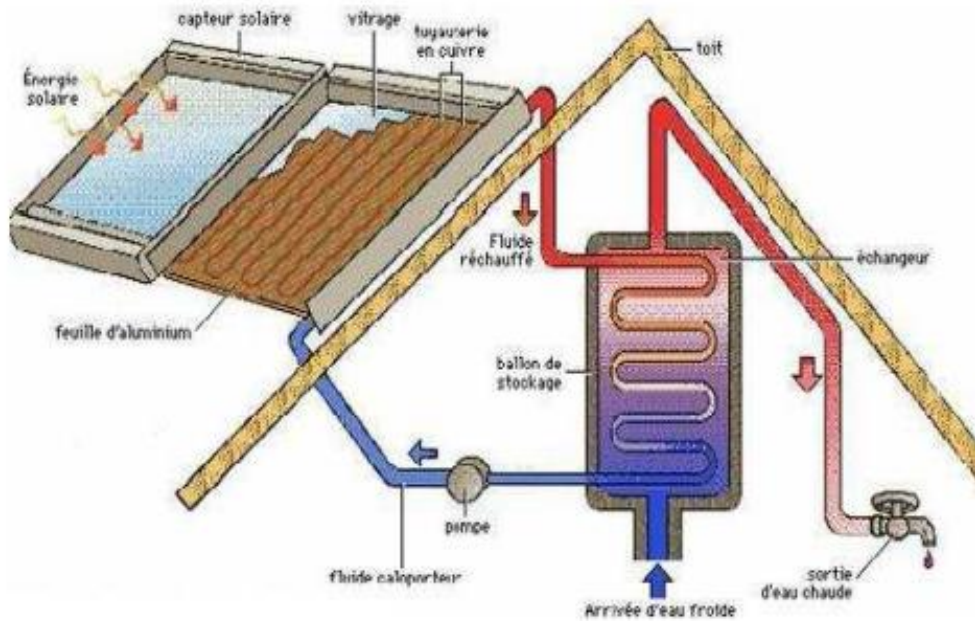


Fig(1.16) Schéma d'un système a thermosiphon

- **Système à circulation forcée :**

Dans ce système, l'eau qui circule dans le capteur est différente de l'eau chaude sanitaire. On peut donc traiter le fluide caloporteur avec un antigel, anticorrosif, un antifongique... En contrepartie, un échangeur de chaleur est nécessaire.

Un avantage de ce système est la possibilité d'obtenir dans le ballon de stockage une stratification des couches d'eau à températures différentes, les couches les plus chaudes étant bien sûr en partie haute.



**Fig(1.17)** système à circulation forcée

Si une énergie d'appoint s'avère nécessaire, elle devra être apportée en partie haute du stockage. On peut installer ou utiliser une chaudière déjà existante en la plaçant en aval de l'installation solaire. Elle sert à remonter la température de l'eau chaude du ballon selon les besoins.

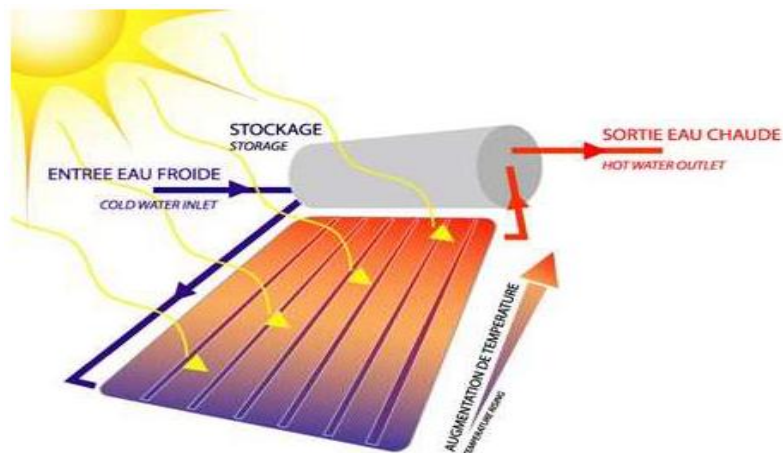
Dans tous les cas une étude économique s'avère nécessaire pour dimensionner la batterie de capteurs ainsi que la chaudière d'appoint, dans le cas d'une création complète d'un système de chauffage.

- **Le chauffe eau solaire monobloc :**

Le Capteur et le ballon sont groupés sur un même châssis rigide et placés à l'extérieur.

C'est un système simple et peu coûteux. Mais le ballon se refroidit plus rapidement, même s'il est bien isolé. Il peut servir à préchauffer l'eau qui alimente un équipement classique existant.

Ce chauffe-eau est compact et bien adapté à la pose sur supports inclinés, en toiture-terrasse. Il se prête moins bien à la fixation sur un toit en pente

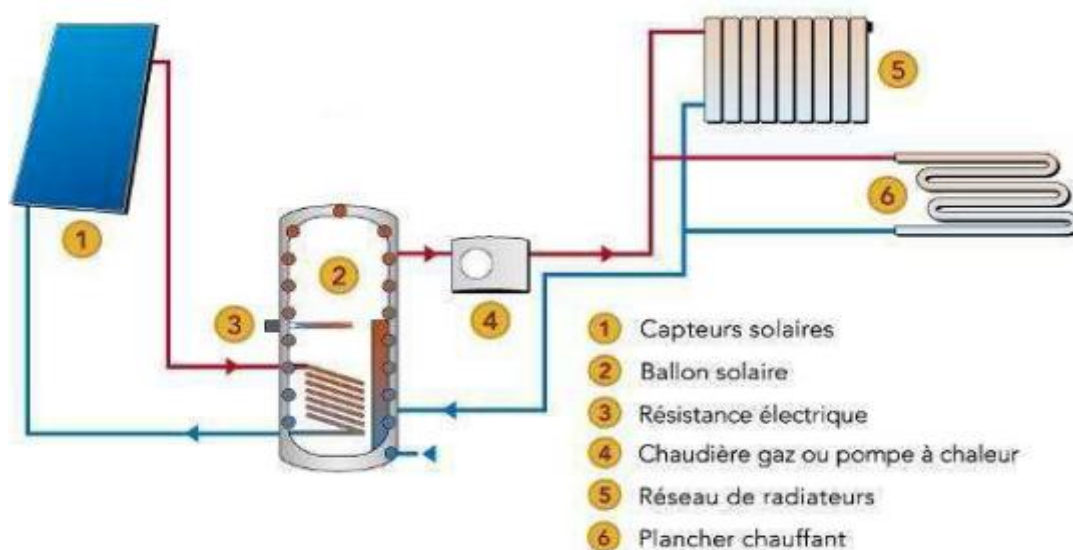


Fig(1.18) Chauffe eau solaire monobloc

### 1.3.2 Chauffage des locaux :

- **Stockage par ballon d'eau : [11]**

Le schéma de principe d'une telle installation est donné à la figure (1.18). Les capteurs solaires chauffent l'eau du stockage par l'intermédiaire d'un échangeur de chaleur. Cette disposition permet de traiter l'eau qui circule dans les capteurs. Un appoint est souvent nécessaire sous nos latitudes. Quant à l'échangeur stockage-habitation il doit avoir une surface la plus grande possible afin de minimiser l'écart de température entre l'eau à  $T_{st}$  provenant du ballon de stockage et l'air à  $T_i$  de la maison. Chauffer à basse température améliore le confort. D'autre part le rendement des capteurs est d'autant meilleur que l'écart de température ( $T_{fe} - T_a$ ) entre la température de l'eau à l'entrée des capteurs et celle de l'air extérieur est faible. Or en première approximation  $T_{fe} \approx T_{st}$ . Il faut donc avoir  $T_{st}$  la plus basse possible.



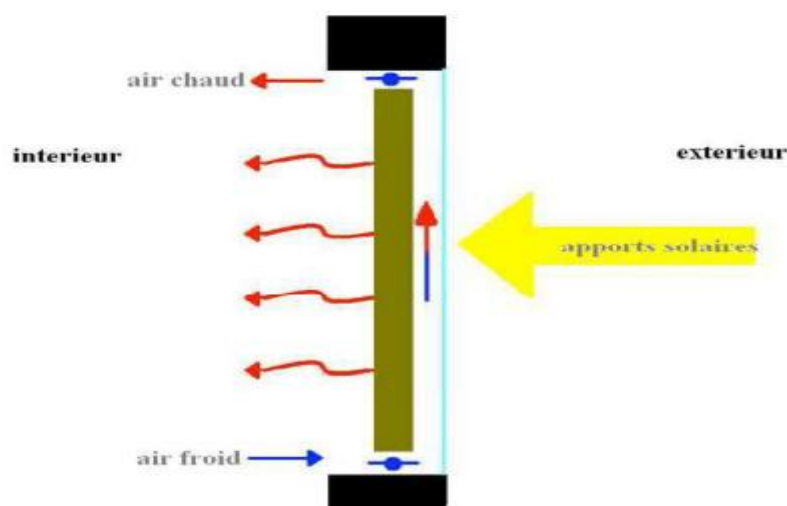
Fig(1.19) Schéma d'une installation de chauffage solaire

La gestion de l'énergie doit favoriser le solaire, l'appel à une énergie d'appoint devant être minimisé. Le stockage sert de tampon journalier et permet de fournir la nuit le surplus d'énergie solaire stockée, le cas échéant, durant la journée. Accroître le volume de l'eau du stockage permet de diminuer la température maximale  $T_{\text{max}}$  atteinte par l'eau durant une journée très ensoleillée et donc, comme on vient de le voir, d'améliorer le rendement des capteurs. La température  $T_{\text{st}}$  de l'eau du stockage doit cependant être supérieure ou égale à une température minimale  $T_{\text{min}}$  qui permet de transmettre convenablement la chaleur de l'échangeur à l'air de la maison à  $T_i$ . Mais augmenter le volume prend de la place et coûte plus cher. Par contre, le diminuer peut entraîner une température de stockage trop grande.

Pour conserver un bon rendement des capteurs solaires, cette température ne doit pas dépasser une valeur  $T_{\text{max}}$  (70°C par exemple). Dans certaines configurations, on peut être amené à rejeter une partie de l'énergie solaire qui ne peut être stockée.

- **Stockage par mur capteur :**

Une autre possibilité de stockage de l'énergie solaire est d'utiliser la structure même de l'habitation, comme par exemple un mur porteur en béton (figure 1.19). Un double vitrage orienté au sud crée un effet de serre. Le mur peint de couleur sombre absorbe le rayonnement solaire. L'intervalle entre le vitrage et le mur joue le rôle d'une cheminée. L'air de la maison y est aspiré ; il s'y réchauffe puis retourne dans la maison en partie haute du mur. Le mur s'échauffe durant le jour et restitue la nuit la chaleur emmagasinée. Les pertes nocturnes peuvent être minimisées en déroulant devant la vitre un volet.



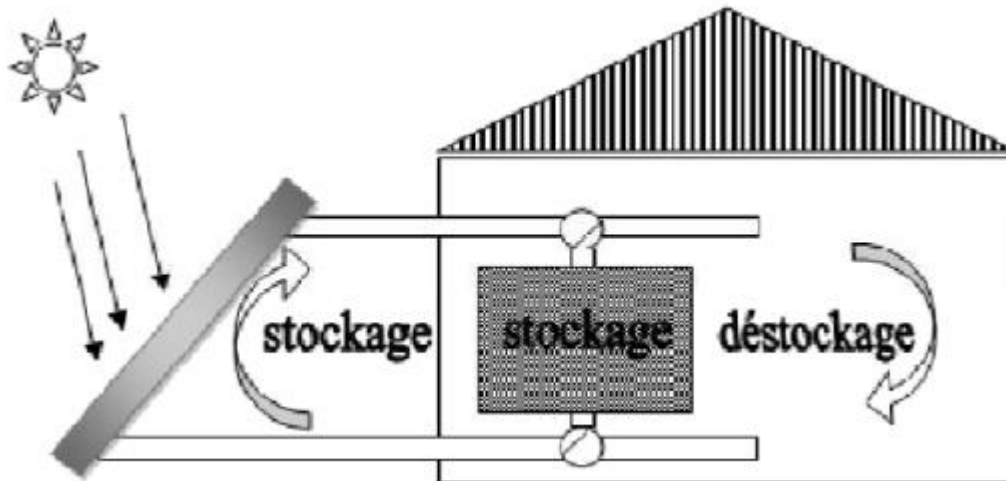
**Fig(1.20)** Schéma simplifié d'un chauffage solaire passif à air ( mur capteur)



- **Stockage par lit de pierres :**

Le problème principal du chauffage solaire à air réside dans le stockage de l'énergie en provenance des capteurs mais aussi de la restitution de cette énergie. Le plus souvent c'est une masse importante de matériau solide qui va emmagasiner la chaleur.

Le schéma de principe d'une telle installation est donné ci-dessous.



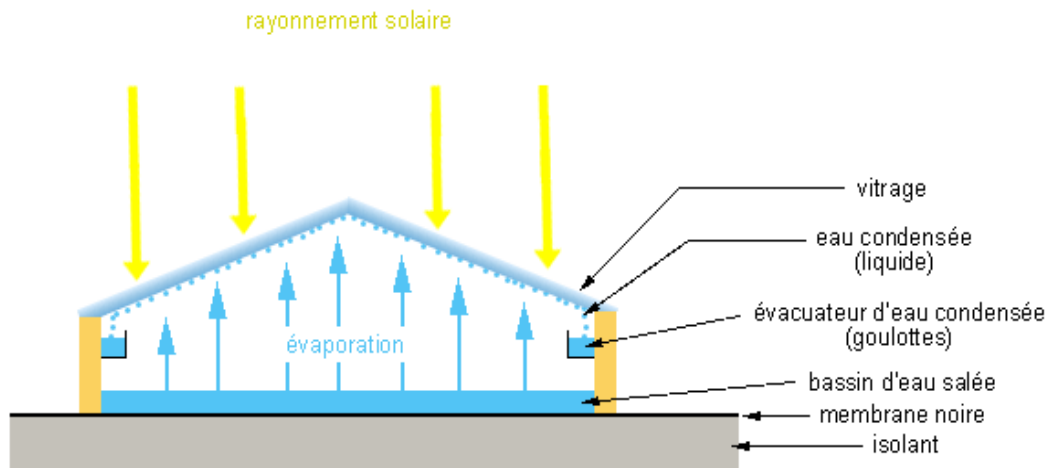
**Fig(1.21)** Chauffage solaire par air ( stockage par lit de pierre)

Le système utilisé est le stockage par lit de pierres. On fait circuler, dans un empilement de galets, de l'air préalablement chauffé dans des capteurs solaires. Il s'en suit une augmentation de la température des pierres et une diminution de celle de l'air qui retourne aux capteurs. Pour réchauffer l'habitation, il suffit de faire circuler l'air de la maison en sens contraire dans le lit de pierres pour récupérer l'énergie emmagasinée. Les surfaces d'échange étant élevées, les écarts de température fluide /galets sont faibles.

### 1.3.3 Le distillateur solaire :

Le distillateur solaire a été utilisé dès 1872 dans les mines de nitrates du nord du Chili. Il permettait de fournir de l'eau potable aux animaux de trait à partir de l'eau salée de la mer.

Son fonctionnement repose une fois de plus sur l'effet de serre : le rayonnement solaire chauffe la membrane noire au fond du bassin. Celle-ci émet des infrarouges qui chauffent l'eau salée. L'eau s'évapore et se condense sur la vitre. Le sel reste donc sur la membrane noire. Les gouttes d'eau pures ruissellent ensuite jusque dans les goulottes. On récupère ainsi l'eau filtrée dans ces goulottes.



Fig(1.21) Distillateur solaire

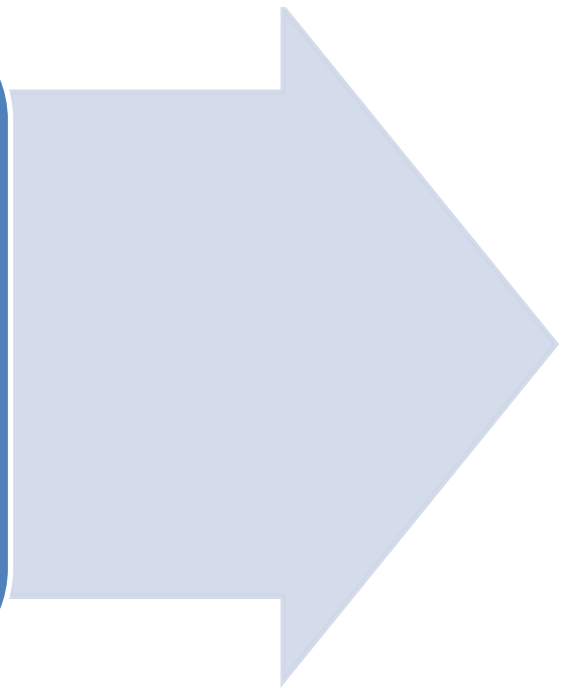
### Conclusion :

Dans ce chapitre en première partie sont présentés les importantes notions sur le gisement solaire comme les coordonnées terrestres, la latitude, la hauteur du soleil et, les temps de base et le mouvement de terre autour de soleil, Aussi présenté les différents types de rayonnements solaires (direct et diffus)

En deuxième partie on a pu présenter les différents capteurs thermiques ainsi que leur principe de fonctionnement.

En troisième et dernière partie, sont présentées les différentes applications a basse température du capteur solaire

CHAPITRE 2:  
lois  
fondamentales  
de transmissions  
de chaleur



## INTRODUCTION :

La thermodynamique permet de prévoir la quantité totale d'énergie qu'un Système doit échanger avec l'extérieur pour passer d'un état d'équilibre à un autre. La thermique (ou thermocinétique) se propose de décrire quantitativement (dans l'espace et dans le temps) l'évolution des grandeurs caractéristiques du système, en particulier la température, entre l'état d'équilibre initial et l'état d'équilibre final.

### 2.1 Définition : [13]

#### 2.1.1 Champ température :

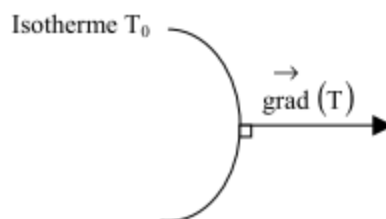
Les transferts d'énergie sont déterminés à partir de l'évolution dans l'espace et dans le temps de la température:  $T = F(x, y, z \text{ et } t)$ . La valeur instantanée de la température en tout point de l'espace est un scalaire appelé champ de température, nous distinguerons deux cas:

- Champ de température indépendant du temps : le régime est dit *permanent* ou *stationnaire*.

- Evolution du champ de température avec le temps : le régime est dit *variable* ou *instationnaire*.

#### 2.1.2 Gradient de température :

Si l'on réunit tous les points de l'espace qui ont la même température, on obtient une surface dite surface isotherme. La variation de température par unité de longueur est maximale le long de la normale à la surface isotherme. Cette variation est caractérisée par le gradient de température représenté sur la figure (2.1).



**Fig (2.1)** Isotherme et gradient thermique [13]

$$\overrightarrow{\text{grad}}(T) = \vec{n} \frac{\partial T}{\partial n} \quad (2.1)$$

Avec :

$\vec{n}$  vecteur unitaire de la normale

$\frac{\partial T}{\partial n}$  dérivée de la température le long de la normale

## 2.2 Flux de chaleur :

La chaleur s'écoule sous l'influence d'un gradient de température par conduction des hautes vers les basses températures.

La quantité de chaleur transmise par unité de temps et par unité d'aire de la surface isotherme est appelée densité de flux de chaleur :

$$\Phi = \frac{1}{S} \frac{dQ}{dt} \quad (2.2)$$

Où : S est la l'aire de la surface en m<sup>2</sup>

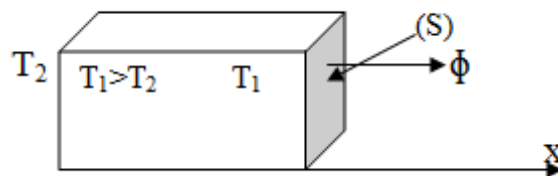
On appelle un flux de chaleur la quantité transmise de chaleur sur la surface S par unité de temps :

$$\Phi' = \frac{dQ}{dt} \quad (2.3)$$

## 2.3 les différents modes de transfert de chaleur :

### 2.3.1 La conduction :

C'est le transfert de chaleur au sein d'un milieu opaque, sans déplacement de matière, sous l'influence d'une différence de température. La propagation de la chaleur par conduction à l'intérieur d'un corps s'effectue selon deux mécanismes distincts : une transmission par les vibrations des atomes ou molécules et une transmission par les électrons libres.



Fig(2.2) Schéma du transfert de chaleur par conduction

La théorie de la conduction repose sur la loi de Fourier décrite par l'équation suivante:[13]

$$\phi = -k S \overrightarrow{grad}(T) \quad (2.4)$$

Ou sous forme algébrique et dans le cas d'une conduction monodirectionnelle:

$$\phi' = -k S \frac{\partial T}{\partial x} \quad (2.5)$$

Avec :

$\phi$  : flux de chaleur transmis par conduction

k : conductivité thermique du milieu

x : variable d'espace dans la direction du flux

S : aire de la section de passage du flux de chaleur

On trouvera dans le tableau (2.1) les valeurs de la conductivité thermique  $k$  de certains matériaux parmi les plus courants.

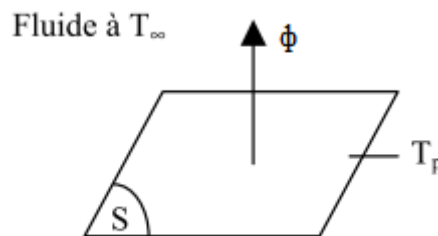
**Tableau 2.1** : conductivité thermique de certains matériaux

matériau	$k$ ( $\text{Wm}^{-1} \text{°C}^{-1}$ )	matériau	$k$ ( $\text{Wm}^{-1} \text{°C}^{-1}$ )
Argent	419	Plâtre	0.35
Cuivre	386	Amiante	0.16
Aluminium	204	Coton	0.059
Acier doux	45	Liège	0.044-0.049
Acier inox	14.9	Laine de roche	0.038-0.041
Glace	1.88	Laine de verre	0.035-0.051
béton	1.4	Polystyrène expansé	0.036-0.047
Bois (feuillu-résineux)	0.12-0.23	Polyuréthane (mousse)	0.030-0.045
Brique terre cuite	1.1	Polystyrène extrudé	0.027
verre	0.78	Air	0.026

### 2.3.2 Convection :

C'est le transfert de chaleur entre un solide et un fluide, l'énergie étant transmise par déplacement du fluide. Ce mécanisme de transfert est régi par la loi de Newton : [13]

$$\phi = h S(T_p - T_\infty) \quad (2.6)$$



**Fig(2.3)** Schéma du transfert de chaleur convectif

Avec ;

$\Phi$  : flux de chaleur transmis par convection

$h$  : coefficient de transfert de chaleur par convection

$T_p$  : température de la surface du solide

$T_\infty$  : température du fluide loin de la surface du solide

$S$  : aire de la surface de contact solide/fluide

La convection est dite *forcée* si le fluide est mis en mouvement par une action extérieure (pompe, ventilateur, vent...).

La convection est dite *naturelle* si le mouvement du fluide ne résulte que des différences de masse volumique induite par des différences de températures.

### 2.3.2.1 Flux de chaleur en convection forcée :

L'application de l'analyse dimensionnelle montre que la relation liant le flux de chaleur transféré par convection aux variables dont il dépend peut être recherchée sous la forme d'une relation entre trois nombres adimensionnels :

$$Nu = f(Re, Pr)$$

Avec :

$Nu$  : Nombre de Nusselt.

$Re$  : Nombre de Reynolds

$Pr$  : Nombre de Prandtl

- Le nombre de Nusselt exprime le rapport entre le flux de chaleur par convection dans le fluide et le flux par conduction.

$$Nu \equiv \frac{h L}{k_f}$$

Ou :

$L$  est la longueur caractéristique,

$k_f$  est la conductivité du fluide

- Le nombre de Reynolds représente le rapport entre les forces d'inerties et les forces de viscosité, il est exprimé comme suit : **[14]**

$$Re \equiv \frac{\rho u L}{\mu} = \frac{u L}{\nu}$$

Ou :

$u$  représente la vitesse de l'écoulement

$\rho$  : masse volumique [ $kg\ m^3$ ]

$\mu$  : viscosité dynamique du fluide [ $kg\ m^{-1}s^{-1}$ ]

- Le nombre de Prandtl est défini par le rapport de la diffusivité mécanique ou viscosité cinématique  $\nu$  sur la diffusivité thermique  $a$ .

$$Pr \equiv \frac{\mu C_p}{k} = \frac{\nu}{a}$$

Ou :

$C_p$ : chaleur spécifique [ $J kg^{-1} K^{-1}$ ]

$k$  : conductivité thermique [ $W m^{-1} °C^{-1}$ ]

Le calcul d'un flux de chaleur transmis par convection forcée s'effectue donc de la manière suivante :

- Calcul des nombres adimensionnels de Reynolds et de Prandtl.
- Suivant la valeur de  $Re$  et la configuration, nous choisissons la corrélation
- Calcul de  $Nu$  par application de cette corrélation.
- Calcul du coefficient de transfert et du flux de chaleur comme suit :

$$\begin{cases} h = \frac{k Nu}{l} \\ \phi = hS(T_p - T) \end{cases}$$

### 2.3.2.2 Flux de chaleur en convection naturelle :

L'application de l'analyse dimensionnelle montre que la relation liant le flux de chaleur transféré par convection aux variables dont il dépend peut être recherchée sous la forme d'une relation entre trois nombres adimensionnels :

$$Nu = f(Gr, Pr)$$

Avec :

$Nu$  : Nombre de Nusselt

$Pr$  : Nombre de Prandtl

$Gr$  : Nombre de Grashof

- Ce nombre exprime le rapport entre les forces de gravité multipliées par les forces d'inertie et le carré des forces de viscosité, il est défini comme : [14]

$$Gr \equiv \frac{\beta g \rho^2 L^3 (T - T_f)}{\mu^2}$$

Avec :

$\beta$ : coefficient de dilatation du fluide [ $K^{-1}$ ]

$L$  : dimension caractéristique de la surface d'échange [ $m$ ]

$g$  : accélération de la pesanteur [ $m s^{-2}$ ]



$\rho$ : masse volumique [ $kg\ m^3$ ]

Le flux de chaleur transmis par convection naturelle se calcul par la manière suivante :

- Calcul des nombres adimensionnels de Grashof et de Prandtl.
- Suivant la valeur de  $Gr$  et la configuration, nous choisissons la corrélation correspondante.
- Calcul de  $Nu$  par application de cette corrélation.
- Calcul du coefficient de transfert et du flux de chaleur comme suit :

$$\begin{cases} h = \frac{k Nu}{d} \\ \phi = hS(T_p - T) \end{cases}$$

### 2.3.3 Le rayonnement :

Le rayonnement est un transfert d'énergie électromagnétique entre deux surfaces (même dans l'espace). Contrairement aux deux autres modes d'échange qui sont la conduction et la convection, le rayonnement ne nécessite pas l'existence d'un support matériel. Il se propage dans l'espace, comme dans tout type de milieu. Si ce milieu est homogène, il se propage en ligne droite.

Dans les problèmes de conduction, on prend en compte le rayonnement entre un solide et le milieu environnant et dans ce cas nous avons la relation :

$$\phi = \sigma \varepsilon_p S (T_p^4 - T_\infty^4)$$

Avec :  $\phi$  Flux de chaleur transmis par rayonnement

$\sigma$  Constante de Stéphan Boltzmann

$\varepsilon_p$  Facteur d'émission de la surface

$T_p$  Température de la surface

$T_\infty$  température du milieu environnant la surface

$S$  Aire de la surface

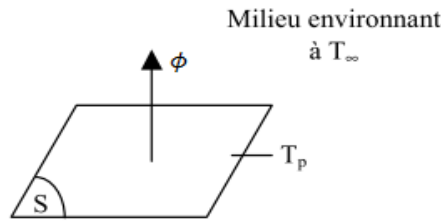


Fig (2.4) Schéma du transfert de chaleur radiatif

• **Loi de Stéphane Boltzmann : [14]**

La loi de Stéphane Boltzmann nous permet de calculer l'émittance totale du rayonnement d'un corps noir dans l'espace en fonction de sa température absolue, elle est donnée par :

$$M = \sigma T^4$$

• **L'émittance totale :**

C'est le flux total émis par unité de surface de la source. On considère globalement la puissance  $d\phi$  émise par un élément de surface  $dS$  dans l'ensemble des directions où il peut rayonner (hémisphère limitée par le plan tangent à  $dS$  en son centre), et on divise ce flux par l'aire  $dS$  ; elle est exprimé par:

$$M = \frac{d\phi}{dS}$$

• **Loi de Planck :**

Cette loi nous permet de calculer l'émittance monochromatique d'un corps noir  $M_{\lambda,T}$  à la longueur d'onde  $\lambda$  et à la température  $T$ , elle est donnée comme suit :

$$M_{\lambda,T} = \frac{C_1 \lambda^{-5}}{\exp\left(\frac{C_2}{\lambda T}\right) - 1}$$

$M_{\lambda,T}$  : Le flux énergétique émis par la surface dans tout l'hémisphère en fonction de la longueur d'onde  $\lambda$  et de la température, elle est exprimé en  $[Wm^3]$

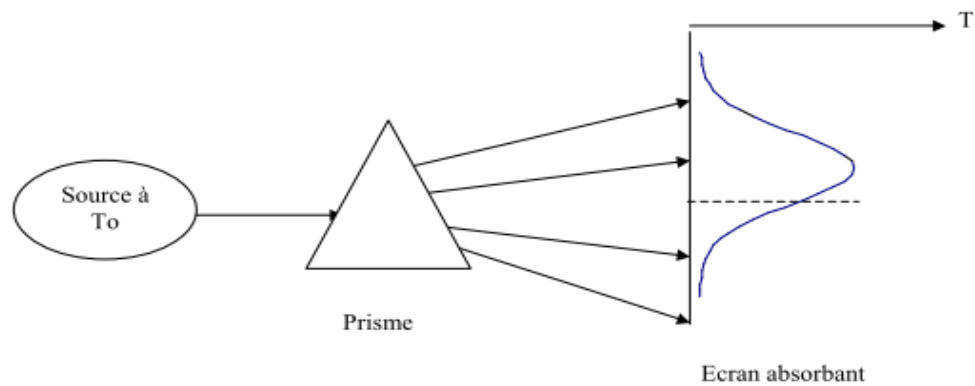
Dans le cas où  $\lambda$  est en  $\mu m$ ,  $M_{\lambda,T}$  est exprimé en  $[W/m^2 \mu m]$ .

Les constantes  $C_1$  et  $C_2$  sont égales à :

$$\begin{cases} C_1 = 3.74 \cdot 10^8 \mu m^4 / m^2 \\ C_2 = 1.44 \cdot 10^4 \mu m \cdot K \end{cases}$$

Tout les corps, quelque soit leur état : solide, liquide ou gazeux, émettent un rayonnement de nature électromagnétique. Cette émission d'énergie s'effectue au détriment de l'énergie interne du corps, émetteur.

Le rayonnement se propage de manière rectiligne à la vitesse de la lumière, il est constitué de radiations de différentes longueurs d'onde comme l'a démontré l'expérience de W.Herschell, figure (2.5) :



**Fig(2.5)** principe de l'expérience de W.Herschell

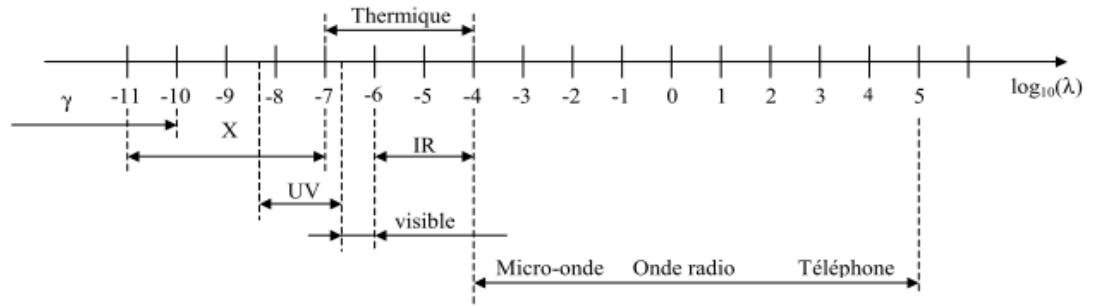
En passant à travers un prisme, les radiations sont plus ou moins déviées selon leur longueur d'onde. On envoie donc les radiations émises par une source à la température  $T_0$  sur un prisme et on projette le faisceau dévié sur un écran absorbant (noirci), on obtient ainsi la décomposition du rayonnement total incident en un spectre de radiations monochromatiques

Si l'on déplace le long de l'écran un thermomètre, on mesure la température  $T_e$  caractérisant l'énergie reçue par l'écran dans chaque longueur d'onde. En construisant la courbe  $T_e = f(\lambda)$ , on obtient la répartition spectrale de l'énergie rayonnée pour la température  $T_0$  de la source. On constate alors que:

- L'énergie émise est maximale pour une certaine longueur d'onde  $\lambda_m$  variable avec  $T_0$ .
- L'énergie n'est émise que sur un intervalle  $[\lambda_1, \lambda_2]$  de longueur d'onde caractérisant le rayonnement thermique.

On trouvera représenté sur la figure (2.6) les différents types d'ondes électromagnétiques et leurs longueurs d'ondes correspondantes. On retiendra que le rayonnement thermique émis par les corps se situe entre 0,1 et 100  $\mu\text{m}$ . On notera par ailleurs que le rayonnement est perçu par l'homme :

- Par l'œil : pour  $0.31 \mu\text{m} > \lambda < 0.79 \mu\text{m}$  rayonnement visible.
- Par la peau : pour  $0.79 \mu\text{m} < \lambda < 314 \mu\text{m}$  rayonnement IR



**Fig (2.6)** Spectre des ondes électromagnétiques

Les grandeurs physiques seront distinguées selon :

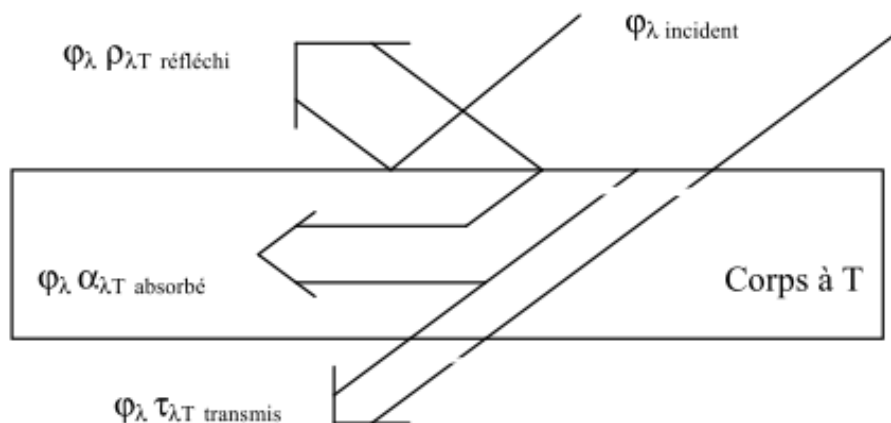
- La composition spectrale du rayonnement
  - Si la grandeur est relative à l'ensemble du spectre elle dite totale.
  - Si elle concerne un intervalle spectral étroit  $d\lambda$  autour d'une longueur d'onde  $\lambda$  est dite monochromatique.
- La distribution spatiale du rayonnement
  - Si la grandeur est relative à l'ensemble des directions de l'espace elle est dite hémisphérique.
  - Si elle caractérise une direction donnée de propagation elle est dit directionnelle.

• **Corps noir :**

C'est un corps idéal vis-à-vis du rayonnement qui, par définition, absorbe tout le rayonnement qu'il reçoit quelque soit la fréquence et la direction. A l'équilibre thermique, il émet autant de rayonnement qu'il en absorbe de sorte qu'un corps noir rayonne le maximum d'énergie de façon uniforme dans toutes les directions.

• **Réception du rayonnement par un solide :**

Quand un rayon incident d'énergie  $\phi_\lambda$  frappe un corps à la température T, une partie  $\phi_\lambda \rho_{\lambda T}$  de l'énergie incidente est réfléchi par la surface S, une autre partie  $\phi_\lambda \alpha_{\lambda T}$  est absorbée par le corps qui s'échauffe et le reste  $\phi_\lambda \tau_{\lambda T}$  est transmis et continue son chemin :

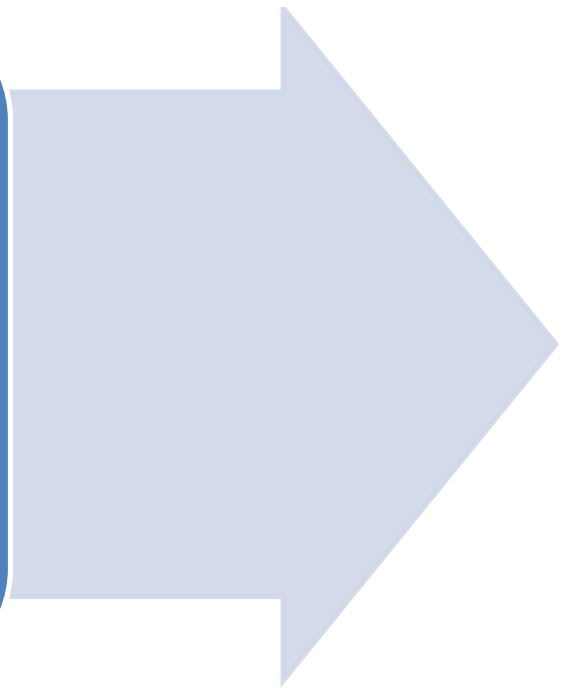


**Fig (2.7)** Schématisation de la répartition d'un flux incident de rayonnement sur un solide

On a évidemment :  $\phi = \phi_{\lambda} \rho_{\lambda T} + \phi_{\lambda} \alpha_{\lambda T} + \phi_{\lambda} \tau_{\lambda T}$  d'où :  $\rho_{\lambda T} + \alpha_{\lambda T} + \tau_{\lambda T} = 1$

On définit ainsi les pouvoirs monochromatiques réfléchissant  $\rho_{\lambda T}$ , absorbant  $\alpha_{\lambda T}$  et filtrant  $\tau_{\lambda T}$  qui sont fonction de la nature du corps, de son épaisseur, de sa température T, de la longueur d'onde  $\lambda$  du rayonnement incident et de l'angle d'incidence.

**CHAPITRE 3:**  
calcul des  
deperditions  
thermiques



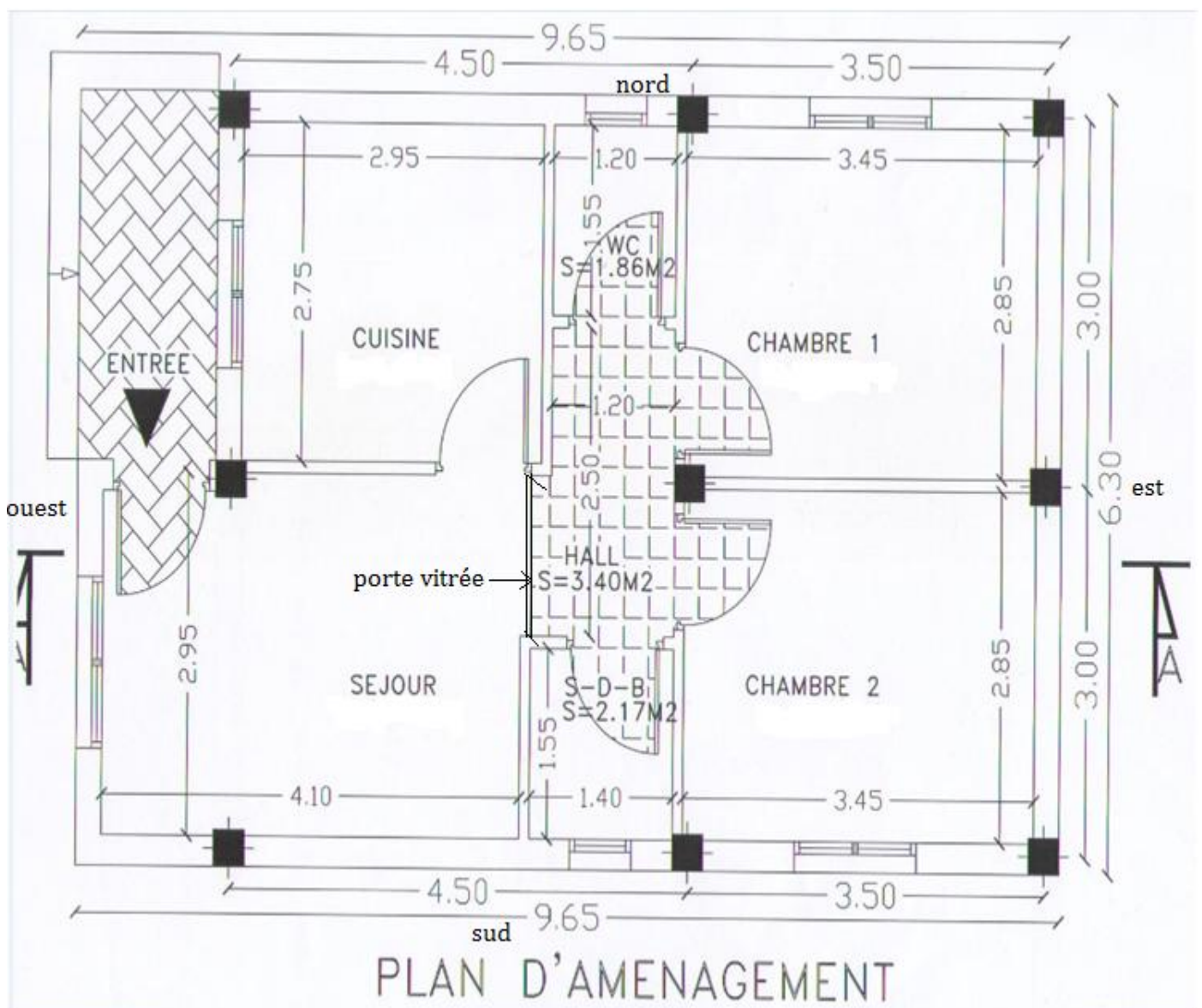
### Introduction :

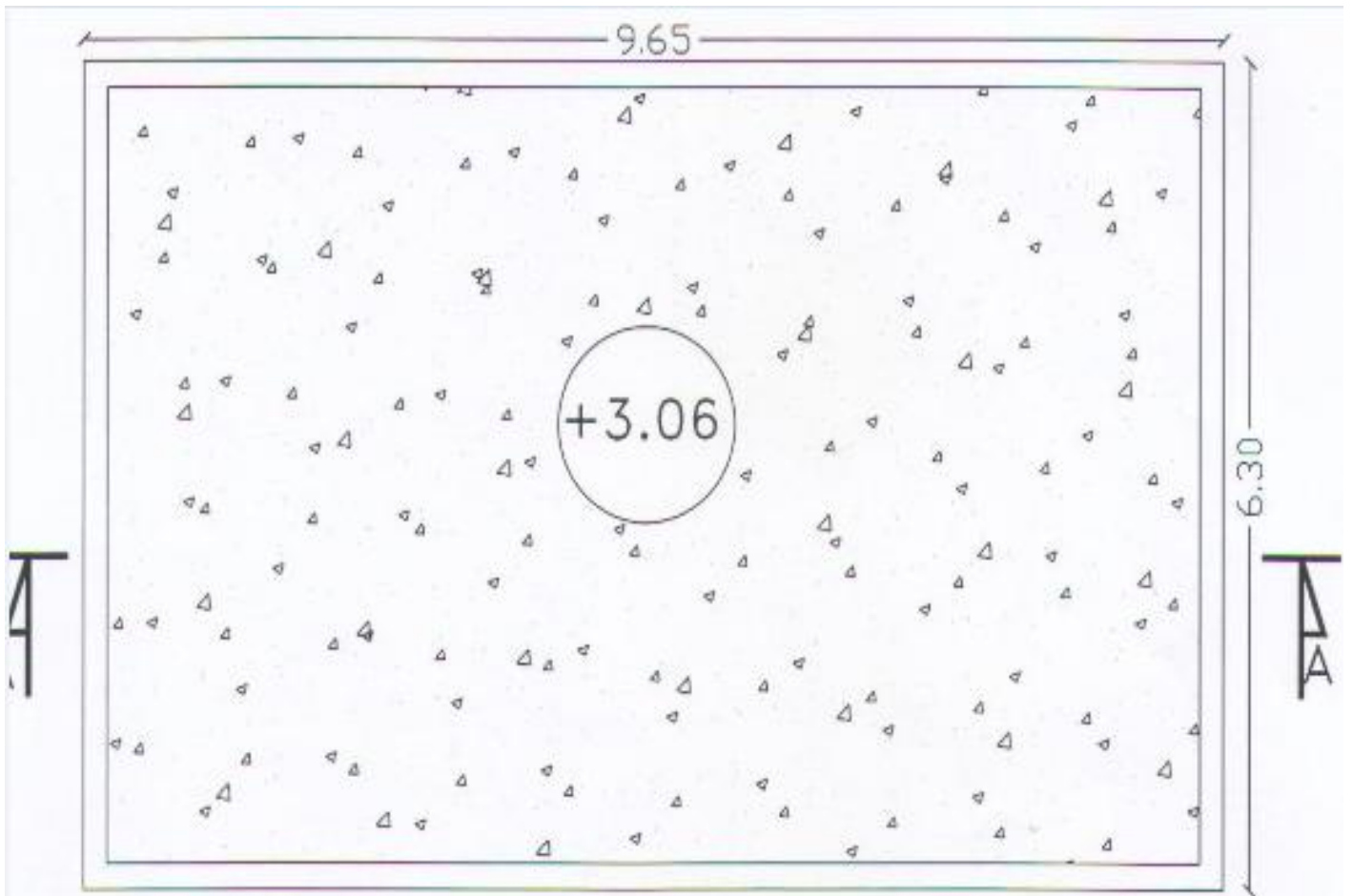
Le confort physiologique de l'homme, nécessite le maintien d'une température de confort dans les locaux qui l'abritent.

L'objectif visé dans ce chapitre consiste à établir un bilan thermique d'une maison individuelle afin de calculer les différentes déperditions thermiques dans les conditions de base correspondant au confort et au milieu extérieur. Ainsi que les besoin en eau chaude sanitaire.

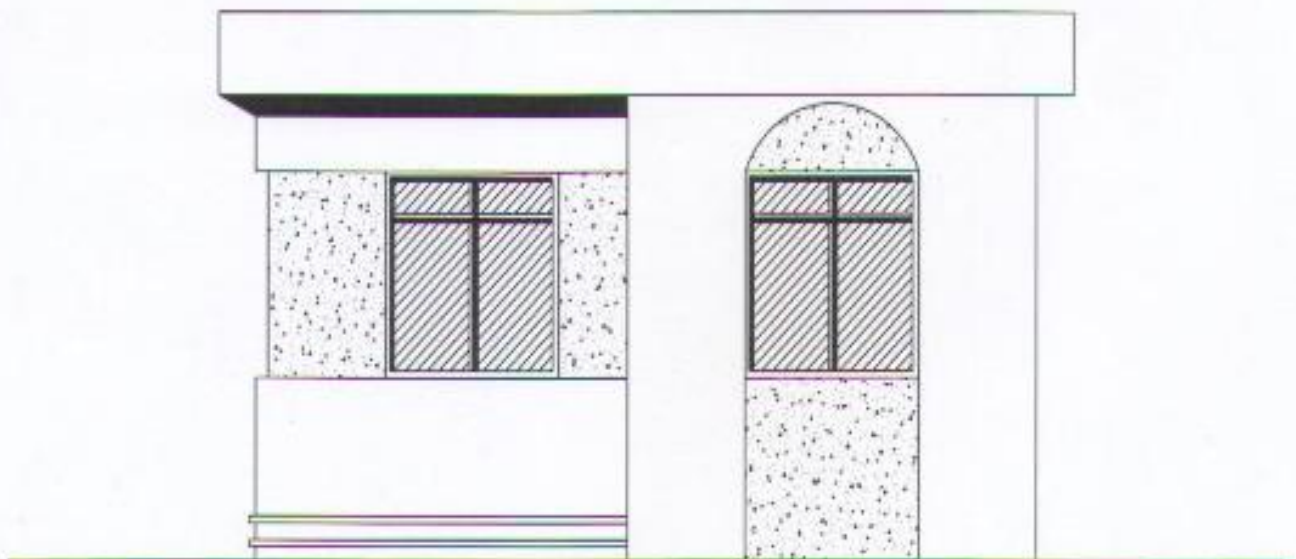
### 3.1 Composition de la maison :

- Plan d'aménagement de la maison :





PLAN DE TERRASSE



FACADE PRINCIPALE



La maison est située dans la ville de Tizi-Ouzou, d'une superficie totale de 60.795 m<sup>2</sup> composée de :

- 02 chambres à coucher.
- 01 cuisine.
- 01 pièce de séjour.
- 01 hall.
- 01 salle de bain.

### 3.2 Bilan thermique de la maison :

Le bilan thermique de cette maison est le calcul du besoin en chauffage, il faut alors calculer toutes les formes des déperditions thermiques qui se trouvent dans cet habitat.

Les déperditions calorifiques sont égales aux flux de chaleur sortant d'un local par transmission de chaleur à travers les parois, ces déperditions sont divisées en deux catégories :

- Les déperditions par transmission.
- Les déperditions par infiltration.

Les déperditions totales pour tous les locaux sont déterminées à partir de l'équation suivante [15]:

$$D = DP + DR \quad (3.1)$$

**DP** : déperditions par transmission à travers les parois (déperditions surfaciques) à savoir :(murs, vitres, portes, toiture)<sub>extérieur</sub>, sol et (murs, vitres, portes, toitures)<sub>intérieur</sub>, liaisons thermiques (déperditions linéiques) à savoir les liaisons entre parois (ponts thermiques)

**DR** : déperditions par renouvellement d'air, infiltration des fissures, ouvertures.

#### 3.2.1 Déperditions par transmission à travers les parois :

Les déperditions par transmission à travers les parois pour tous les locaux est déterminée à partir de l'équation suivante :

$$DP = DP_{exterieur} + DP_{liaison\ thermique} + DP_{sol} + DP_{local\ non\ chauffé} \quad (3.2)$$

##### 3.2.1.1 Déperdition par transmission à travers les parois extérieures :

La déperdition à travers les parois pour tous les locaux est déterminée à partir de l'équation suivante :

$$DP_{ext} = \sum K_j \times S_j \times (T_i - T_e) \quad (3.3)$$

Avec :

j : murs+vitres+ports+toitures+planchers

T<sub>i</sub>: Température intérieure d'un local

T<sub>e</sub>: Température extérieure d'un local

K<sub>j</sub>: Coefficient de transmission

➤ **Le coefficient de transmission K des murs est donné par la formule suivante :**

$$\frac{1}{K} = \sum R + \frac{1}{h_e} + \frac{1}{h_i} \quad (3.4)$$

$\sum R$  : représente la somme des résistances thermiques des différentes couches de matériaux constituant la paroi. La détermination de la résistance thermique d'une couche de matériaux dépend de la nature du matériau

La somme  $\frac{1}{h_e} + \frac{1}{h_i}$  représente la somme des coefficients d'échange superficiels.

➤ **Le coefficient de transmission K des parois vitrées est donné par la formule suivante :**

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{K_{vn}} + r_v + r_{rid} \quad (3.5)$$

Avec :

K<sub>vn</sub> : représente le coefficient K du vitrage nu en (m<sup>2</sup>. °C/W).

r<sub>v</sub> : représente la résistance supplémentaire de voilage éventuelle on adopte :

r<sub>v</sub>=0.025 m<sup>2</sup>. °C/W [données de CDER (centre de développement des énergies renouvelables)]

r<sub>rid</sub> : représente la résistance supplémentaire de rideaux éventuelle on adopte :

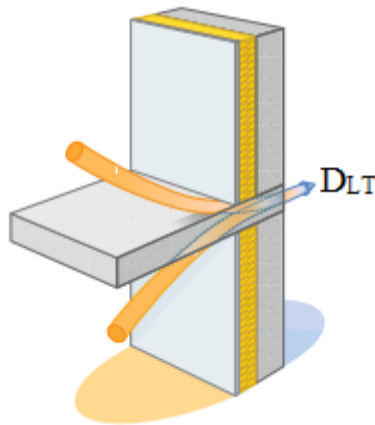
r<sub>rid</sub>=0.03 m<sup>2</sup>. °C/W. [données de CDER]

Pour notre cas on a que des rideaux.

### 3.2.1.2 Déperditions par transmission à travers les liaisons thermiques : [15]

Les déperditions surfaciques sont les importantes, on estime que les déperditions par transmission à travers les liaisons thermiques (déperditions linéiques) représentent environ 5 à 10 % des déperditions surfaciques, donc on peut écrire que :

$$DP_{LT} = 0,1 \times DP_{ext} \quad (3.6)$$



**Fig(3.1)** déperdition par liaisons thermiques

### 3.2.1.3 Déperditions par transmission à travers le sol :

Les déperditions par transmission à travers le sol sont déterminées à partir de l'équation suivante :

$$DP_{sol} = K \times S \times (T_i - T_e) \quad (3.7)$$

### 3.2.1.4 Déperditions par transmission à travers les locaux non chauffés :

Pour évaluer les déperditions par transmission à travers les locaux non chauffés on prend en compte la température réelle de ces derniers. ( $T_n$ )

Dans notre étude les locaux non chauffés sont a une température ( $T_n$ ) de 14 °C

## 3.2.2 Déperdition par renouvellement d'air : [5]

Pour des raisons liées à l'hygiène et à la production de vapeur d'eau, il est nécessaire de renouveler l'air (au moins une fois le volume des pièces par heure). Ceci entraine une perte de chaleur sous la forme suivante :

$$DR = 0.34 N V(T_i - T_e) \quad (3.8)$$

Avec :

**0.34** : représente la capacité calorifique de 1 m<sup>3</sup> d'air à 20°C.

**N**: le taux horaire de renouvellement d'air ( $N=1$ , pièce de séjour).

**V**: le volume des locaux.

## 3.2.3 coefficient GV : [16]

Le coefficient GV d'un logement est égal à ses déperditions thermiques, pour un degré d'écart entre les températures intérieures est extérieures c'est-à-dire  $T_i - T_e = 1^\circ\text{C}$  et on a :

$$G.V = D/\Delta T \quad (3.9)$$

Avec :

G : coefficient des déperditions volumique ( $W/m^3\text{°C}$ )

V : volume habitation.

### 3.2.4 Déperditions dans un lieu donné pour la période hivernale : [16]

Les déperditions thermiques dans une journée donnée se calculent comme suit :

$$D = Q = G.V.(T_i - T_e).24 \quad (3.10)$$

Pour qu'on puisse connaître toutes les déperditions thermiques durant toute la période hivernale, on doit faire intervenir la notion des degrés-jours, autrement dit mesurer jour par jour l'écart entre la température ambiante prise à  $20\text{°C}$  et la température moyenne minimale extérieure heure par heure, pour cela le nombre de degré jour se calcul comme suit : [5]

$$Ndj = \sum_{i=1}^{31 \text{ mars}} (20 - \frac{T_{max} + T_{min}}{2}) \quad (3.11)$$

### 3.3 Description de la maison :

La maison pour laquelle on fait notre étude est une maison individuelle de construction habituelle.

#### ➤ Température extérieures de base :

La température de base extérieure correspond à la moyenne des températures minimales pendant dix ans pour une région donnée, ainsi tenant compte des données de températures fournies par la station météorologique de Tizi-Ouzou ; celle-ci vaut  $2\text{°C}$ .

**NB :** TIZI OUZOU est une région qui se situe au centre nord de l'Algérie.

#### ➤ Température intérieure de base :

Par définition, la température intérieure de base est une température de l'air que l'on désire obtenir au centre de la pièce en absence de tout apport de chaleur autre que celui fourni par l'installation de chauffage ; celle-ci vaut  $20\text{°C}$ .

#### ➤ Température du sol :

La température du sol est de  $13\text{°C}$

### 3.4 Les coefficients de transmission surfaciques K :

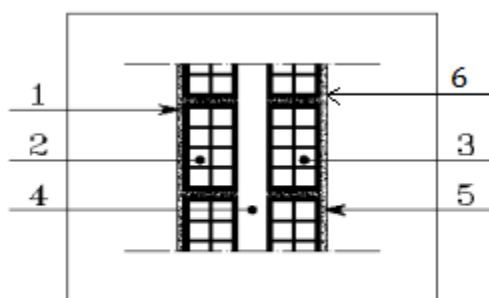
Le tableau (3.1) nous donne les résistances thermiques d'échange superficielles pour les murs intérieurs, murs extérieurs, planchers bas, plafonds et toitures

**Tableau 3.1:** Les valeurs des résistances thermiques d'échange superficielles intérieures et extérieures [15] :

$\frac{1}{h} (m^2 \cdot C/W)$	Paroi en contact avec :			Paroi en contact avec :		
	-l'extérieur -un passage ouvert -un local ouvert			-un autre local, chauffé ou non chauffé -comble -Un vide sanitaire		
<b>Résistance thermique</b>	$\frac{1}{h_i}$	$\frac{1}{h_e}$	$\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e}$	$\frac{1}{h_i}$	$\frac{1}{h_e}$	$\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e}$
<b>Mur latéral</b>	0,11	0,06	0,17	0,11	0,11	0,22
<b>Toiture</b>	0,09	0,05	0,14	0,09	0,09	0,18
<b>Plancher</b>	0,17	0,05	0,22	0,17	0,17	0,34

### 3.5 La maçonnerie de la maison :

➤ Murs extérieurs :



Détail maçonnerie extérieur

- En brique double cloison :

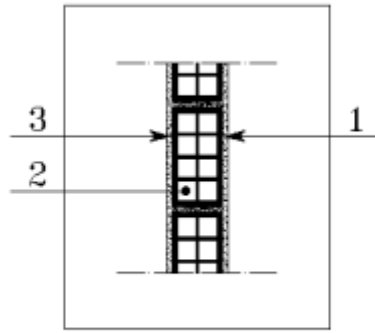
$$R = \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e} + \sum_{i=1}^n R_i \quad \text{et} \quad K = \frac{1}{R}$$

N°	Constituant	Epaisseur e (m)	$\lambda$ (W/m°C)	R (m²°C/W)
<b>1 et 6</b>	Enduit en ciment	0,01	1,4	0,007
<b>2 et 3</b>	Brique	0,1	0,2	0,5
<b>4</b>	Lame d'air	0,1	0,16	0,625
<b>5</b>	Plâtre	0,01	0,35	0,028

$$R = 0,17 + 2(0,007) + 2(0,5) + 0,625 + 0,028 = 1,837$$

$$R = 1,837 \text{ m}^2\text{C/W} \Rightarrow K = 0,544 \text{ W/m}^2\text{C}$$

➤ Murs intérieurs :



Détail maçonnerie intérieur

N°	Constituant	Epaisseur e (m)	$\lambda$ (W/m°C)	R (m²°C/W)
1	Plâtre	0,01	0,35	0,028
2	Brique	0,1	0,2	0,5
3	Enduit en ciment	0,01	1,4	0,007

$$R = 0,22 + 0,5 + 2(0,028 + 0,007) = 0,79$$

$$R = 0,79 \text{ m}^2\text{°C/W} \Rightarrow K = 1,266 \text{ W/m}^2\text{°C}$$

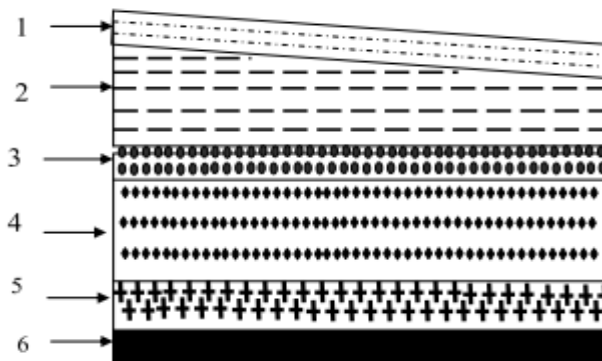
➤ Plancher bas :

constituant	Epaisseur e (m)	$\lambda$ (W/m°C)	R (m²°C/W)
Béton plein	0,12	1,75	0,068
Sable gravillon	0,03	1,2	0,025
Carreaux de sol	0,02	1	0,02

$$R = 0,17 + 0,068 + 0,025 + 0,02 = 0,283$$

$$R = 0,283 \text{ m}^2\text{°C/W} \Rightarrow K = 3,533 \text{ W/m}^2\text{°C}$$

➤ Toiture (plafond) :



Plancher terrasse

N°	Eléments	Epaisseurs e (m)	$\lambda$ (W/m°C)	R (m²°C/W)
1	Etanchéité multicouches	0,02	0,45	0,044
2	Béton en forme de pente	0,07	1,75	0,04
3	Isolation thermique au liège	0,04	0,045	0,888
4	Dalle pleine en béton armé	0,20	0,73	0,273
5	Enduit en ciment	0,01	1,4	0,007
6	plâtre	0,01	0,35	0,028

$$R = 0,14 + 0,044 + 0,04 + 0,888 + 0,273 + 0,007 + 0,028 = 1,42$$

$$R = 1,42 \text{ m}^2\text{C/W} \Rightarrow K = 0,704 \text{ W/m}^2\text{C}$$

➤ **Les vitres :**

Le coefficient de transmission K pour les vitres est calculé par la formule (3.5) :

Avec :  $K_{vn}=5$ ,  $r_{rid}=0,03$

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{5} + 0,03 = 0,23 \Rightarrow K = 4,347 \text{ W/m}^2\text{C}$$

➤ **Les portes :**

portes		K (W/m²°C)
Intérieures	En bois	2
	En vitrage	5
extérieures		3,5

### 3.6 Le bilan calorifique :

✚ **Déperdition par transmission à travers les parois extérieures :**

Pièce de la maison	parois	orientation	Surface (s) des parois (m²)	Surface (S) calculée (m²)	K (W/m²°C)	Ecart de température $\Delta T$ (°C)	Déperdition $Q = K \cdot S \cdot \Delta T$ (W)
<b>Chambre 1</b>	M ch 1	N	8,637	17,358	0,544	18	169,969
	M ch 2	E	8,721				
<b>Chambre 2</b>	M ch 1	E	8,721	17,358	0,544	18	169,969
	M ch 2	S	8,637				
<b>séjour</b>	M s 1	S	12,30	18,767	0,544	18	183,766
	M s 2	O	6,467				
<b>cuisine</b>	M c 1	N	9,027	15,522	0,544	18	151,991
	M c 2	O	6,495				
<b>S B D</b>	M sdb	S	3,794	3,794	0,544	18	37,150

✚ Déperdition à travers le vitrage :

Pièce de la maison	vitres	orientation	Surface (S) calculée (m <sup>2</sup> )	K (W/m <sup>2</sup> °C)	Ecart de température ΔT (°C)	Déperdition Q = K . S . ΔT (W)
<b>Chambre 1</b>	V ch 1	N	1,92	4,347	18	150,232
<b>Chambre 2</b>	V ch 2	S	1,92	4,347	18	150,232
<b>séjour</b>	V s	O	2,56	4,347	18	200,309
<b>Cuisine</b>	V c	O	1,92	4,347	18	150,232
<b>S B D</b>	V sdb	S	0,49	4,347	18	38,340

✚ Déperdition à travers les portes :

portes	matériaux	Surface (S) (m <sup>2</sup> )	K (W/m <sup>2</sup> °C)	Ecart de température ΔT (°C)	Déperdition Q = K . S . ΔT (W)
<b>Vers l'extérieur</b>	En bois	2,64	3,5	18	166,32
<b>Vers local non chauffé</b>	En bois	1,98	2	6	23,76
	En vitrage	2,64	5	6	79,20

✚ Déperdition à travers la toiture :

Pièce de la maison	toit	Surface (S) calculée (m <sup>2</sup> )	K (W/m <sup>2</sup> °C)	Ecart de température ΔT (°C)	Déperdition Q = K . S . ΔT (W)
<b>Chambre 1</b>	T ch 1	9,832	0,704	18	124,591
<b>Chambre 2</b>	T ch 2	9,832	0,704	18	124,591
<b>séjour</b>	T s	12,095	0,704	18	153,267
<b>Cuisine</b>	T c	8,112	0,704	18	102,795
<b>S B D</b>	T sdb	2,170	0,704	18	27,498



✚ Déperdition par transmission à travers les liaisons thermiques :

Pièce de la maison	Coefficient (coeff)	Déperdition extérieure ( $DP_{ext}$ ) (W)	Déperdition $Q_{lt} = coeff. DP_{ext}$ (W)
<b>Chambre 1</b>	0,10	444,792	44,479
<b>Chambre 2</b>	0,10	444,792	44,479
<b>séjour</b>	0,10	703,585	70,358
<b>Cuisine</b>	0,10	405,018	40,501
<b>S B D</b>	0,10	103,048	10,304

✚ Déperdition par transmission à travers le sol :

Pièce de la maison	sol	Surface (S) calculée ( $m^2$ )	K ( $W/m^2\text{°C}$ )	Ecart de température $\Delta T$ ( $^{\circ}C$ )	Déperdition $Q = K. S. \Delta T$ (W)
<b>Chambre 1</b>	S ch 1	9,832	3,533	7	243,155
<b>Chambre 2</b>	S ch 2	9,832	3,533	7	243,155
<b>Séjour</b>	S s	12,095	3,533	7	299,121
<b>Cuisine</b>	S c	8,112	3,533	7	200,617
<b>S B D</b>	S sdb	2,170	3,533	7	53,666

✚ Déperdition à travers les murs internes avec un local non chauffé :

Pièce de la maison	Surface (S) calculée ( $m^2$ )	K ( $W/m^2\text{°C}$ )	Ecart de température $\Delta T$ ( $^{\circ}C$ )	Déperdition $Q = K. S. \Delta T$ (W)
<b>Hall</b>	13,158	1,266	6	99,948

✚ Déperdition par le renouvellement d'air :

Pièce de la maison	N	V (m <sup>3</sup> )	Tb (°C)	Te (°C)	Déperdition DR (W)
Chambre 1	1	30,087	20	2	184,132
Chambre 2	1	30,087	20	2	184,132
séjour	1	37,010	20	2	226,501
Cuisine	2	24,824	20	2	303,845
S B D	2	6,640	20	2	81,273
					<b>979,883</b>

❖ La somme des déperditions par transmission (surfaciées et linéiques) :

	DP Mur (W)	DP Vitre (W)	DP Porte (W)	DP Toit (W)	DP LT (W)	DP Sol (W)	DP Lnc (W)	Déperdition DP (W)
Chambre 1	169,969	150,232	23,76	124,591	44,479	243,155	-	<b>756,186</b>
Chambre 2	169,969	150,232	23,76	124,591	44,479	243,155	-	<b>756,186</b>
Séjour	183,766	200,309	245,52	153,267	70,358	299,121	-	<b>1152,341</b>
Cuisine	151,991	150,232	-	102,795	40,501	200,617	-	<b>646,136</b>
Hall	-	-	-	-	-	-	99,948	<b>99,948</b>
S.D.B	37,150	38,340	23,76	27,498	10,304	53,666	-	<b>190,718</b>
								<b>3601,515</b>

❖ Déperditions thermiques totales D :

$$D = DP + DR$$

$$D = Q = 3601,515 + 979,883 = 4581,398 \text{ W}$$

**3.7 Calcul des besoins en chauffage : [16]**

L'énergie de chauffage nécessaire pour la période de chauffe, qui s'étend du mois de novembre au mois de mars pour une température de chauffe  $T_c = 20^\circ\text{C}$  égale à :

$$Q_e = 0,024 \cdot GV \cdot Ndj(KWh)$$

On a :

$$G.V = \frac{Q}{\Delta T} = \frac{4581,398}{20 - 2} = 254,522 \text{ W}/^\circ\text{C}$$

Les températures moyennes mensuelles et les degrés jour pour la saison de chauffe de 2000 à 2010 sont donnés dans les tableaux (3.1), (3.2)

**Tableau 3.1** : relevé des températures moyennes mensuelles pour la saison de chauffe des années 2001 à 2010 [17]

Mois	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	$T_{Pm}$ annuelle $^\circ\text{C}$
	$T_{Pm}$	$T_{Pm}$	$T_{Pm}$	$T_{Pm}$	$T_{Pm}$	$T_{Pm}$	$T_{Pm}$	$T_{Pm}$	$T_{Pm}$	$T_{Pm}$	
Nov	14	15,2	15,7	13,3	13	17,3	13,6	13,5	15,3	14,3	14,52
Déc	09,2	12,9	10,6	11,5	10,6	12,1	10,6	13,1	15,8	11,2	11,76
Jan	10,8	09,7	10,1	10,6	07,4	09,2	11,4	11	10,8	11,4	09,16
Fév	10,3	11,4	09,3	12,2	07,7	10	13	12,6	10,4	12,8	10,97
Mars	16,8	13,7	13,8	13,6	12,8	14,2	12,3	13	12,7	13,7	13,66

**Tableau 3.2** : les valeurs des degrés jours pour la saison de chauffe de 2000 à 2010 :

Mois	Nov	déc	Jan	Fév	Mars
<b>Température de chauffe</b> $T_c$ ( $^\circ\text{C}$ )	20	20	20	20	20
<b>Température journalière</b> $T_{mj}$ ( $^\circ\text{C}$ )	14,52	11,76	09,16	10,97	13,66
$\Delta T = T_c - T_{mj}$	5,48	8,24	10,84	9,03	6,34
<b>Degré jour (Ndj)</b>	164,4	255,44	336,04	252,84	196,54

- La totalité des degrés jour :  $Ndj = 1205,26$

$$\Rightarrow Q_e = 0,024 \cdot 254,522 \cdot 1205,26 = 7362,364 \text{ KWh}$$

Finalement l'énergie à fournir pour le chauffage est:  $Q_e = 7362,364 \text{ KWh}$

### 3.8 Les besoins thermiques en eau chaude sanitaire :

Les besoins en eau chaude sanitaire dépendent de :

- débit journalier nécessaire au besoin du ménage.
- nombre d'occupant.
- norme d'utilisation.

Pour la zone urbaine, l'utilisation de l'eau est de 170 l/j par habitant et dans la zone rurale est de 100 l/j par habitant d'après la direction de l'hydraulique de Tizi-Ouzou.

Le besoin de l'eau chaude pour les occupants de la maison étudiée est estimé à 25 l/j par occupant à 50 °C.

Les besoins d'eau chaude sanitaire sont donnés par la formule suivante : [18]

$$B_{e-c-s} = N \cdot V \cdot (T_{ec} - T_{ef}) \cdot \rho \cdot C_p \quad (3.12)$$

Avec :

$N$  : nombre d'occupants.

$V$  : volume d'eau utilisé par occupant par jour.

$T_{ec}$  : température minimale acceptable pour l'eau chaude (°C).

$T_{ef}$  : température moyenne de fourniture de l'eau froide (°C).

$\rho$  : masse volumique de l'eau (1 Kg/l).

$C_p$  : chaleur spécifique (4,186 KJ/Kg°C)

Le nombre d'occupants dans la maison étudiée étant 3 et  $T_{ef} = 8^\circ\text{C}$ , donc :

$$B_{e-c-s} = 3 \times 25 \times (50 - 8) \times 1 \times \frac{4,186}{3600} = 3,662 \text{ KWh/j}$$

$$B_{e-c-s} = 3,662 \text{ KWh/j}$$

Ce qui présente 109,86 KWh des besoins thermiques en eau chaude sanitaire par mois.

Les besoins en chaude sanitaire pour la saison de chauffe sont alors :

$$B_{e-c-s} = 549,3 \text{ KWh}$$

⇒ Les besoins en chauffage et en chaude sanitaire pour la saison de chauffe sont :

$$P_{c-ecs} = 7911,664 \text{ KWh}$$

### **Conclusion :**

Ce chapitre a été consacré au bilan thermique hivernal d'une maison individuelle ainsi que le calcul des besoins en eau chaude sanitaire et en énergie de chauffage.



CHAPITRE 4:  
Dimensionnement

**Introduction :**

Ce chapitre sera consacré au dimensionnement du système de captage susceptible d’assurer le chauffage et la production d’eau chaude sanitaire, tenant compte des besoins évalués dans le chapitre précédent.

**4.1 Calcul des apports solaires :**

**4.1.1 Fraction d’insolation :**

Les valeurs de SS, SS<sub>0</sub> sont données par le tableau (4-1) et  $\sigma$  est calculé par l’équation (1.9) pour la saison de chauffe. Ces valeurs sont récupérées auprès du centre météorologique de Tizi Ouzou, enregistrées entre 2001 et 2010. [19]

**Tableau 4.1 :** relevé des valeurs moyennes mensuelles des durées d’insolation (SS), et durées maximales mensuelles d’insolation (SS<sub>0</sub>), et fraction d’insolation( $\sigma$ ) pour les années (2001 à 2010)

Mois	JR	SS <sub>0</sub>	2001		2002		2003		2004		2005		2006		2007		2008		2009		2010		SS <sub>moy</sub>	$\sigma$
			SS	$\sigma$	SS	$\sigma$	SS	$\sigma$	SS	$\sigma$	SS	$\sigma$	SS	$\sigma$	SS	$\sigma$	SS	$\sigma$	SS	$\sigma$				
Nov	15	10.1	5.56	0.59	4.06	0.40	4.70	0.46	5.06	0.50	5.93	0.59	5.30	0.52	7.10	0.70	0.90	0.09	6.06	0.60	6.10	0.60	5.12	0.50
Dec	11	9.6	4.93	0.51	3.58	0.37	5.00	0.52	3.77	0.39	3.90	0.41	5.10	0.53	4.30	0.45	3.90	0.41	4.48	0.47	3.41	0.35	4.24	0.44
Jan	17	9.8	4.50	0.46	4.70	0.48	4.20	0.43	4.35	0.44	5.45	0.56	5.10	0.52	4.20	0.43	6.10	0.62	5.87	0.60	3.48	0.35	4.80	0.49
Fev	15	10.7	8.10	0.76	6.82	0.64	5.70	0.53	4.39	0.41	6.57	0.61	4.30	0.40	5.30	0.49	9.50	0.89	3.43	0.32	6.07	0.57	6.02	0.56
Mar	16	11.8	8.03	0.68	8.19	0.69	6.40	0.54	5.60	0.47	6.09	0.52	5.10	0.43	8.30	0.70	5.91	0.50	7.12	0.60	8.30	0.65	6.96	0.59

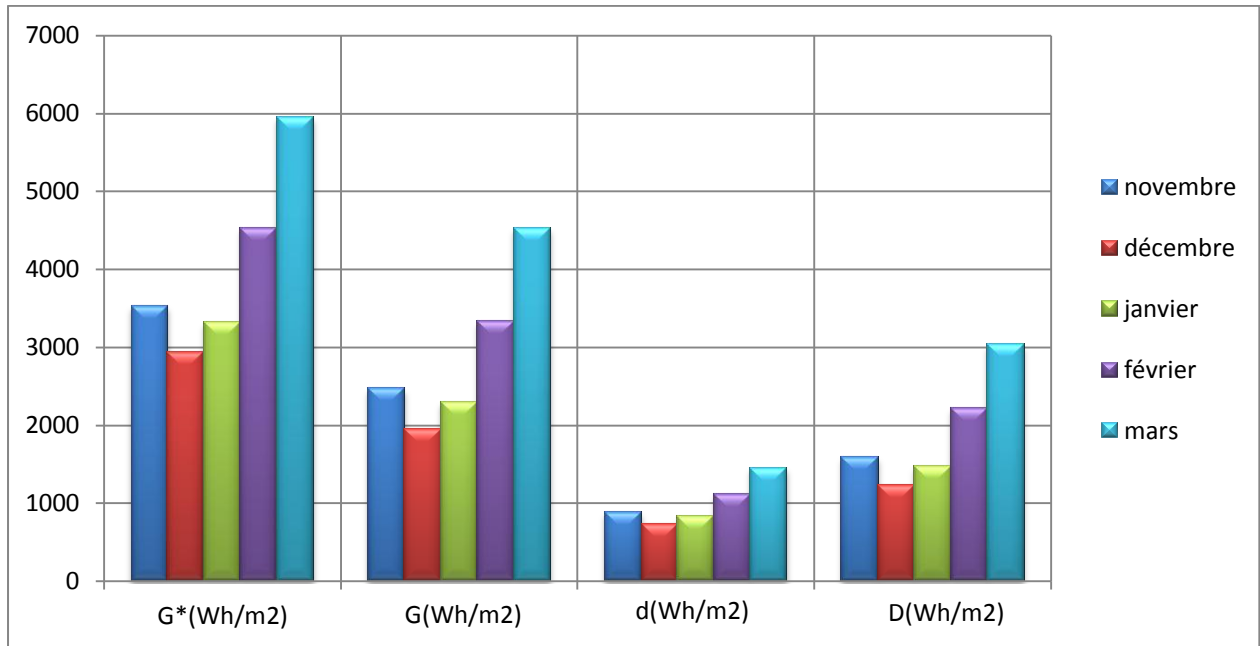
Unité utilisée : heure et 10<sup>ème</sup> d’heure.

**4.1.2 Calcul des différents rayonnements (G, D, d) sur une surface horizontale :**

Le tableau ci-dessous nous donne les valeurs de G, D et d :

**Tableau 4.2 :** Valeur de G, D et d pour une surface horizontale

Mois	Novembre	Décembre	janvier	Février	Mars
G*(Wh/m <sup>2</sup> )	3524	2940	3314	4528	5952
$\sigma_{moy}$	0,50	0,44	0,49	0,56	0,59
G (Wh/m <sup>2</sup> )	2466.8	1955.7	2300.6	3327.2	4477.7
d (Wh/m <sup>2</sup> )	875,7	735,3	824,8	1111,3	1448,9
D (Wh/m <sup>2</sup> )	1591,1	1220,4	1475,8	2215,9	3028,2



**Fig (4.1) :** Histogramme des rayonnements (G, D et d) reçus par une surface horizontale.

$G^*$  est le rayonnement global du ciel clair, il est mesuré par un pyranomètre et il est donné dans des abaques.

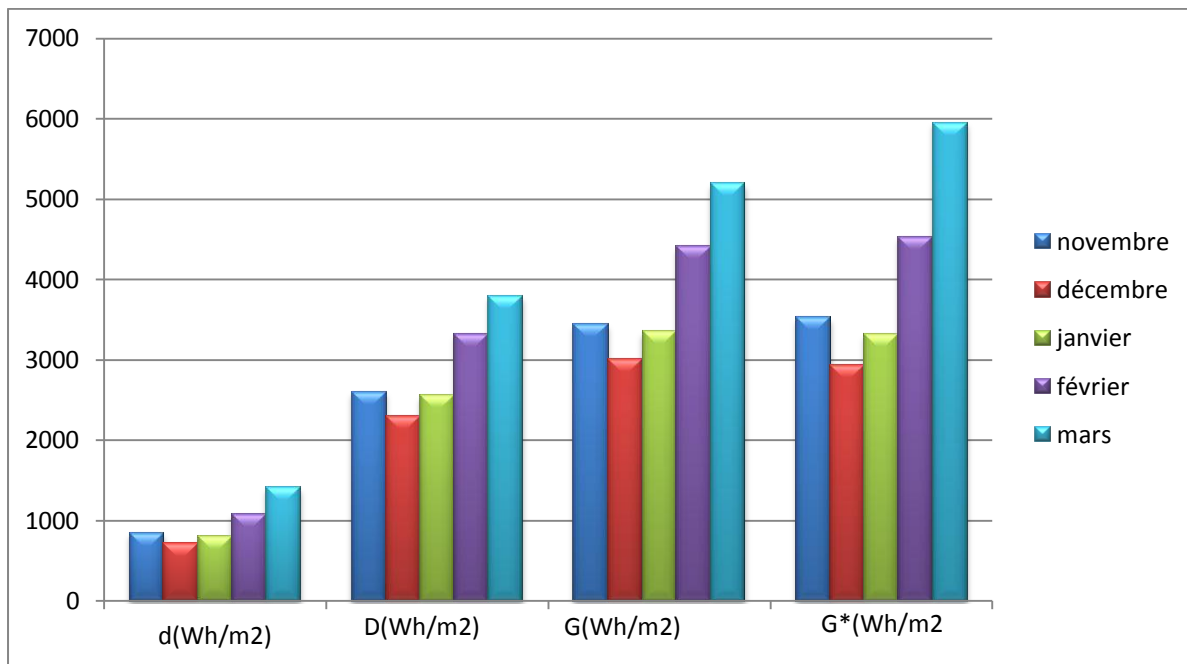
**4.1.3 Calcul des différents rayonnements (G, D et d) sur une surface inclinée :**

Le tableau ci-dessous nous donne les valeurs de (G, D et d) sur une surface inclinée d'un angle de 30° orientée par rapport au sud d'un angle de 0°

**Tableau 4.3 :** Valeurs de G, D, d et  $\Phi$  pour une surface inclinée

Mois	Novembre	décembre	Janvier	Février	Mars
d (30,0)	847,4	710	797,9	1078,1	1406,9
D (30,0)	2593,5	2294,3	2553,1	3323,8	3785,2
G (30,0)	3440,9	3004,3	3351	4401,9	5192,1
SS <sub>0</sub> (h)	10,1	9,6	9,8	10,7	11,8
$\Phi$ (KWh/m <sup>2</sup> .j)	3,38	3,23	3,64	4,69	5,61





**Fig(4.2) :** Histogramme des rayonnements (G, D, I) reçus par une surface inclinée de 30°

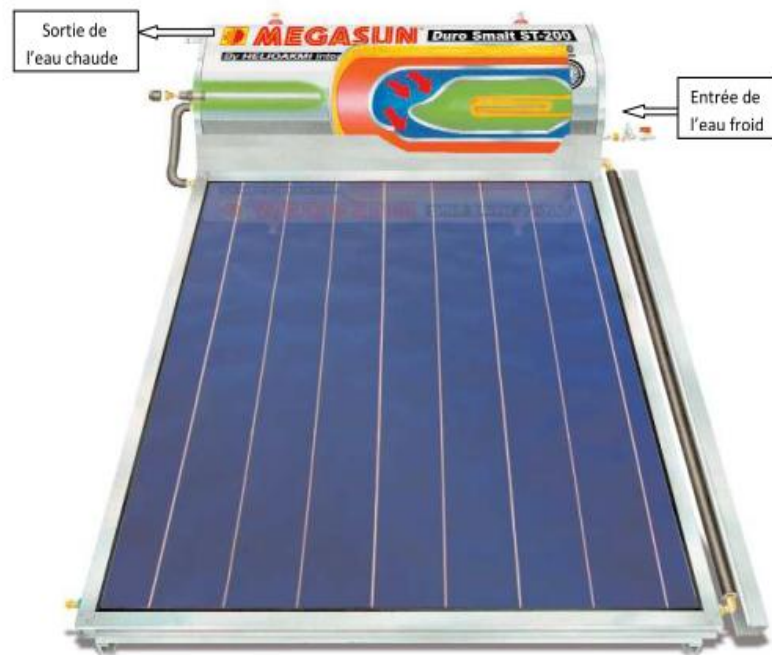
## 4.2 Dimensionnement de l'installation pour le chauffage domestique et l'eau chaude sanitaire :

Pour pouvoir dimensionner un système à chauffage solaire il faut bien choisir les composants (capteurs, ballon de stockage et l'isolation...etc) de ce système.

### 4.2.1 Choix de capteur :

Il faut choisir le type de capteurs qui correspond le mieux au niveau de température auquel on désire travailler.

Pour assurer la production du chauffage et d'eau chaude sanitaire, on a choisi un capteur solaire plan de marque MEGASUN du model ST2000 car ce type fonctionne sous un ensoleillement faible donc il correspond bien a notre cas.



**Fig (4.3):** vue principale d'un chauffe eau solaire ST 2000 [20]

#### 4.2.2 Caractéristiques générales :

Les chauffe-eaux solaires MEGASUN utilisent des capteurs solaires plans de surfaces totales comprises entre 2.10 m<sup>2</sup> et 5.20 m<sup>2</sup>. Le fluide caloporteur est transmis au ballon de stockage par thermosiphon. L'échange thermique au niveau du ballon se fait par un échangeur de type annulaire (jaquette).

L'appoint, électrique, se fait par une résistance électrique.

Le rapport Volume/Surface d'entrée (V/S) des capteurs plans est compris entre 57 et 76 l/m<sup>2</sup>.

**Tableau 4.4:** Caractéristiques du système chauffe eau solaire MEGASUN :

marque	modèle	Nombre de capteurs	Surface totale en m <sup>2</sup>	Nombre d'échangeur	Volume ballon(l)	Nature d'appoint
MEGASUN	ST120	1ST2000	2,1	1	120	Electricité
	ST160	1ST2500	2,6	1	160	
	ST200	1ST2500	2,6	1	200	
	ST200E	2ST2000	4,2	1	200	
	ST260	2ST2000	4,2	1	260	
	ST300	2ST2000	4,2	1	300	
	ST300E	2ST2500	5,2	1	300	

#### 4.2.3 Caractéristiques du réservoir de stockage :

- Revêtement extérieur : Aluminium anodisé.
- Isolation du réservoir : Polyuréthane, épaisseur 40-55 mm.
- Matériel du cylindre : Acier à basse teneur en carbone, épaisseur 3 mm.
- Matériel de l'échangeur : Acier à basse teneur en carbone, de chaleur (jacket) épaisseur 1,5 mm.
- Protection interne du réservoir : DUROSMALT 80-120 microns
- Protection supplémentaire : Anode en magnésium.
- Résistance électrique : Cuivre
- Thermostat : Bipolaire à quatre contacts.
- Puissance de la résistance : Disponible de 0,8 kW à 4 kW.

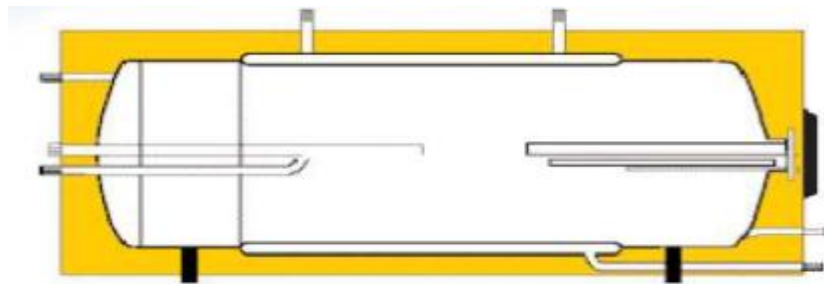


Fig (4.4): Réservoir de stockage

#### 4.2.4 Caractéristiques dimensionnelles de capteur solaire ST2000: [20]

Tableau 4.5 : Caractéristiques dimensionnelles de capteur solaire ST2000

Le capteur	ST2000
Superficie hors tout (m <sup>2</sup> )	2,1
Superficie d'entrée (m <sup>2</sup> )	2,00
Pression de service du capteur (bars)	7
Contenance en eau de l'absorbeur (litres)	1,67
Diamètre hors tout (mm)	2050x1010x90
Pression d'essai (bars)	10
Rendement optique(%)	0,78
Pois(Kg)	43
Coefficient de conduction K (W/m <sup>2</sup> °C)	7,13

### 4.3 Rendement du capteur :

Le rendement d'un capteur solaire dépend de :

- la température d'entrée et de sortie du fluide caloporteur,
- le flux solaire incident.
- les données climatiques propres au site (température et vitesse du vent).
- les caractéristiques géométriques et les propriétés physiques des éléments le constituant.

Sa formule est donnée comme suit :

$$\eta = \eta_0 - \frac{K}{G}(T_p - T_a)$$

Avec :

$\eta_0$ : Rendement optique du capteur.

$K$ : Coefficient de transmission surfacique en  $W/m^2 \cdot ^\circ C$ .

$G$ : Éclairement solaire en  $W/m^2$ .

$T_p$ : Température de la paroi.

$T_a$ : Température de l'air

Le tableau suivant nous donne les valeurs du rendement pendant la saison de chauffe et les températures d'entrée et de sortie du fluide :

**Tableau 4.6** : Rendement du capteur solaire pendant la saison de chauffe :

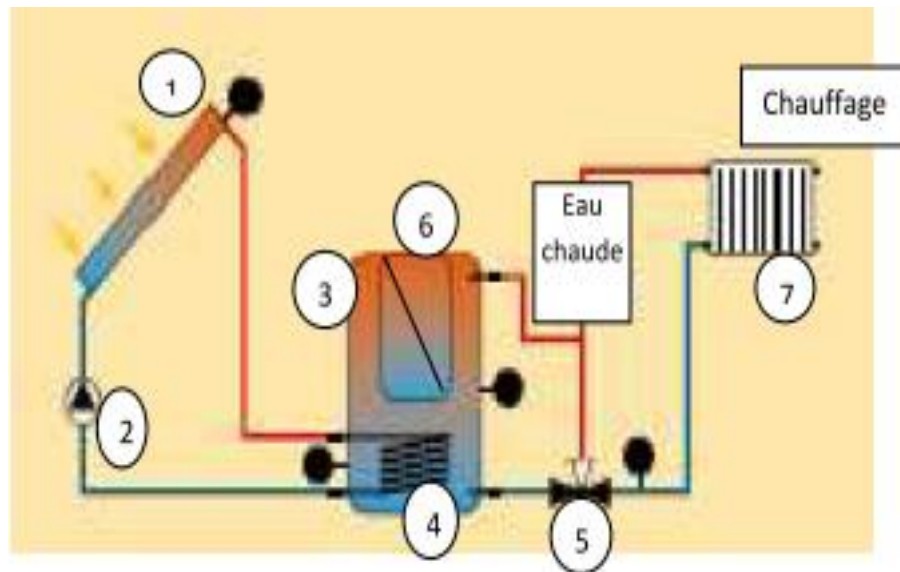
Température	$T_{mj} = T_a$	$T_{ec}$	$T_{ef}$	$T_p = \frac{T_{ec} + T_{ef}}{2}$	$\frac{K}{G}(T_p - T_a)$	Rendements
<b>Novembre</b>	14,52	48	13,15	30,57	0,0332	0,7468
<b>Décembre</b>	11,76	44	10,2	27,1	0,0364	0,7435
<b>Janvier</b>	09,16	42	7,92	25	0,0336	0,7463
<b>Février</b>	10,97	42,8	8,7	25,75	0,0239	0,7560
<b>mars</b>	13,66	46	11,81	28,9	0,0209	0,7590

Les valeurs des températures de l'eau froide sont données par la station météorologique de TIZI-OUZOU, et celles de l'eau chaude sont estimées par les occupants de la maison

A partir du tableau, on en déduit que le rendement moyen du capteur est égale à :  $0,7503 \approx 75\%$

#### 4.4 Installation pour le chauffage :

L'installation solaire retenue comprend un ensemble de capteurs plans à un seul vitrage, de modèle MEGASON (ST2000), ainsi qu'un ballon de stockage qui contient l'eau chaude qui sera distribuée dans les radiateurs pour assurer le chauffage. En cas d'ensoleillement insuffisant l'appoint électrique du ballon solaire prend le relais



**Fig(4.5):** Installation pour le chauffage

L'installation est composée des éléments suivants :

- **Capteur(s) solaire.**
- **Pompe de circulation** : appareil qui assure la circulation de l'eau refroidie entre le ballon et le capteur solaire.
- **Ballon de stockage:** cuve métallique isolée qui contient l'eau chaude sanitaire qui sera distribuée dans les radiateurs.
- **Echangeur thermique:** appareil permettant de céder la chaleur du liquide caloporteur provenant du capteur à l'eau du circuit de la maison.
- **circulateur commandé par la régulation.**
- **Résistance électrique** : Appoint électrique en cas d'insuffisance solaire.
- **Radiateur.**

#### 4.5 Surface de captage : [17]

##### 4.5.1 Détermination de la surface de captage nécessaire pour l'eau chaude sanitaire :

$$S_{ecs} = \frac{B_{e-c-s}}{G_{moy}\eta} = \frac{3662}{3878 \cdot 0,75} = 1,26 \text{ m}^2$$

Le Chauffe-eau solaire utilisé est de type thermosiphon constitué d'un capteur solaire plan ST2000.

##### 4.5.2 Détermination de la surface de captage nécessaire pour le chauffage :

La surface de captage définie comme étant le rapport d'une part du besoin énergétique journalier exprimé en KWh et d'autre part de l'énergie reçue pendant la journée exprimée en KWh/m<sup>2</sup> J et le rendement du capteur :

$$S_c = \frac{Q_e}{\eta \cdot \phi \cdot 30 \text{ jours}} = \frac{7362,364}{0,75 \cdot 20,55 \cdot 30} = 15,92 \text{ m}^2$$

D'où la surface de captage pour le chauffage est égale à 15,92 m<sup>2</sup>

La surface totale est de :  $S_t = S_c + S_{ecs} = 17,18 \text{ m}^2$

##### 4.5.3 Nombre de capteurs utilisés :

$$N_c = \frac{S_t}{S} = \frac{17,18}{2,1} = 8,18 \text{ capteurs} \Rightarrow N_c = 9 \text{ capteurs}$$

La correction de la surface totale du captage sera

$$S_t = S \cdot N_c = 18,9 \text{ m}^2$$

##### 4.5.4 Volume de stockage :

$$V_{ecs} = V \cdot N = 25 \cdot 3 = 75 \text{ l} = 0,075 \text{ m}^3$$

N: nombre d'occupants

##### 4.5.5 Volume de stockage pour le chauffage :

Pour le chauffage solaire, 1m<sup>2</sup> du capteur peut nous chauffer de 70 à 100 L d'eau, d'où :

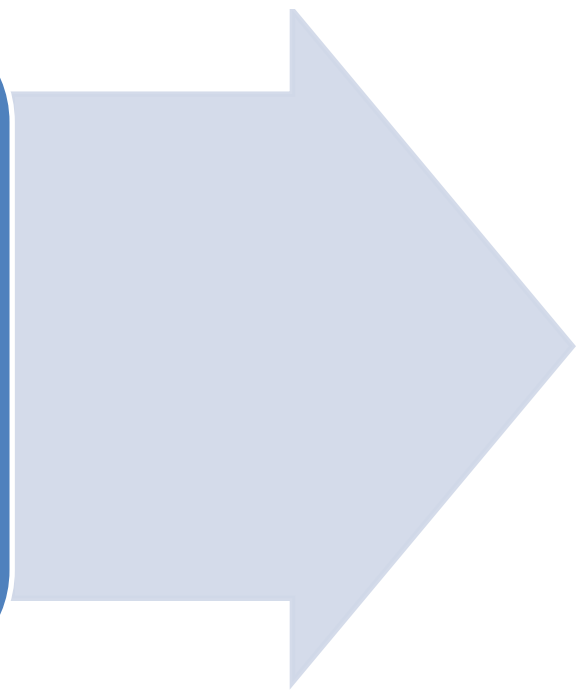
Pour une quantité de 80 L par 1 m<sup>2</sup> du capteur, on a :

$$V_c = 80 \cdot 15,92 = 1273,6 \text{ L} = 1,2736 \text{ m}^3$$

#### Conclusion :

Ce chapitre a permis le calcul de la surface de captage et procédé au choix du capteur dont les caractéristiques dimensionnelles sont fournies par le constructeur.

CHAPITRE 5:  
Etude  
économique et  
impact  
environnemental



## Introduction :

Dans ce chapitre on essayera d'évaluer et de réaliser une étude économique et environnementale du système de chauffage étudié et le comparer aux différents systèmes de chauffages à énergie conventionnelle.

L'investissement dans les énergies renouvelables n'échappent pas a la règle de rentabilité financière, même s'il est vrais que le chauffage au moyen des chauffe eau solaire est techniquement réalisable, propre non polluant, disponible et durable, le coté économique est certainement le plus indicatif chez les ménages, d'ou tout l'intérêt d'évaluer le prix du kWh solaire et le comparer avec le kWh des énergies traditionnelles disponible sur le marcher, à savoir le gaz naturelle, l'électricité, fuel et le gaz butane

### 5.1 Etude économique :

#### 5.1.1 Calcul de prix du KWh solaire : [21]

**Coût du KWh solaire = Coût du CES / durée de vie/ énergie économisée**

**Coût du CES = investissement – aides financières**

Durée de vie du système 25 ans

Energie économisée = économie de combustible induite par la production solaire (7911,446 Kwh)

#### **Remarque :**

Investissement non actualisé et frais d'entretien non compris

#### 5.1.2 Coût de l'investissement (l'installation solaire) : [22]

Coût d'investissement = coût des capteurs solaires + coût du ballon de stockage

➤ Coût du capteur solaire plan de type ST 2000 = 80 000 DA

➤ Coût d'un réservoir de stockage de 1500 l = 120 000 DA

⇒ Coût total de l'installation solaire =  $9 \times 80\,000 + 120\,000 = 840\,000$  DA

**Le coût de l'installation solaire : 840 000 DA**

#### 5.1.3 Calcul de l'aide de l'état : [23]

Le coût de l'installation est évalué a 840 000 DA, et le fond national de maîtrise de l'énergie (FNME) offre une subvention de 45% du prix de revient, ce qui conduit a une aide de :

$840\,000 \times 0.45 = 378\,000$  DA ce qui donne au final un prix d'investissement égale à :

$840\,000 - 378\,000 = 462\,000$  DA



Tenant compte de la durée de vie de l'installation qui est en moyenne de 25 ans et la production d'énergie annuelle, le prix du kilowattheure solaire vaut :

$$1 \text{ KWh solaire} = \frac{462\,000}{7911,664 \times 25} = \mathbf{2,335 \text{ DA}}$$

**1 KWh solaire vaut 2,335 DA**

#### 5.1.4 Les énergies conventionnelles :

A cette étape on va évaluer le prix du KWh pour les différentes installations de chauffage que notre installation solaire peut remplacer et faire une comparaison entre le prix du KWh solaire avec le KWh des énergies conventionnelles.

Consommation durant un mois :

Pour l'installation d'eau chaude sanitaire on a une consommation de : 109,86 KWh/mois

Pour l'installation du chauffage solaire on a une consommation de : 1472,47 KWh/mois

Consommation total des deux installations est de : 1582,33 KWh/mois

#### 5.1.5 Coût de KWh de l'installation en utilisant le gaz naturel : [24]

L'unité de puissance utilisée pour le chauffage à gaz naturel est la thermie

On a 1 th= 1,16 KWh donc la consommation total des deux installations en thermie est de : 1364,08 th/mois

1 <sup>ère</sup> tranche		2 <sup>ème</sup> tranche		DA
Consommation (th)	Prix unitaire (da)	Consommation (th)	Prix unitaire (da)	
375	0,168	989,08	0,324	383,461
<b>TVA (taux 7 %)</b>				26,842
<b>Prime fixe /mois</b>				28,500
<b>Total a payé</b>				438,803
<b>Prix du KWh</b>				<b>0,277</b>

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

**5.1.6 Coût de KWh de l'installation en utilisant l'électricité:**

1 <sup>ère</sup> tranche		2 <sup>ème</sup> tranche		DA
Consommation (th)	Prix unitaire (da)	Consommation (th)	Prix unitaire (da)	
41,6	1,779	1540,73	4,179	6512,717
<b>TVA (taux 7 %)</b>				455,890
<b>Prime fixe /mois</b>				17,48
<b>Total a payé</b>				6986,08
<b>Prix du KWh</b>				<b>4,415</b>

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

**5.1.7 Coût de KWh de l'installation en utilisant le gaz butane :**

Le gaz butane est vendu sur le marché sous forme de bouteille contenant 13 Kg de butane, dont le prix est de 230 da la bouteille.

En sachant que : 1 Kg de gaz butane fournie environ 13,72 KWh donc :

La masse de gaz butane nécessaire pour les besoins de l'habitat est :

$$M = \frac{1582,33}{13,72} = 115,33 \text{ Kg}$$

⇒ nombre de bouteilles nécessaire pour les besoins de l'habitat est :

$$N = \frac{115,33}{13} = 8,87 \text{ donc on va prendre } N \text{ égale à : } 9 \text{ bouteilles}$$

Calculons le prix total de la consommation en gaz butane des 9 bouteilles :

$$\text{Le prix total} = 9 \times 230 = 2070 \text{ da}$$

$$\Rightarrow \text{Prix du } KWh = \frac{2070}{1582,33} = 1,308 \text{ da}$$

Le prix du KWh en utilisant le gaz butane pour le chauffage de l'eau et de la maison est : **1,308 da**

### 5.1.8 Coût de KWh de l'installation en utilisant le fuel (mazout) :

Le prix d'un litre de mazout sur le marché est de : 13,5 da.

En sachant : qu'un litre (1L) de mazout fourni environ 10,4 KWh donc :

La quantité (volume) de mazout nécessaire pour les besoins de l'habitat est :

$$V = \frac{1582,33}{10,4} = 152,147 L$$

Calculant le prix total de la consommation en mazout :

$$\text{Le prix total} = 152,147 \times 13,5 = 2053,986 \text{ da}$$

$$\Rightarrow \text{Le prix du } KWh = \frac{2053,986}{1582,33} = 1,298 \text{ da}$$

Le prix du KWh en utilisant le mazout pour le chauffage de l'eau et de la maison est : **1,298 da**

### Analyse des résultats:

D'après les résultats obtenus dans l'évaluation et le calcul des prix du KWh des différentes sources d'énergies, le prix du KWh solaire est relativement cher devant le gaz naturel, le gaz butane et le mazoute, et relativement bas devant l'électricité.

### 5.2 L'impact sur l'environnement : [25]

Les installations solaires thermiques permettent la substitution d'énergies « classiques », fossiles ou nucléaire, qui, en plus d'être fortement polluantes en termes de rejets atmosphériques ou de déchets produits, présentent des ressources limitées. L'énergie solaire, quant à elle, est non seulement gratuite et inépuisable, mais elle ne génère aucune pollution.

Le tableau ci dessous présente les émissions de CO<sub>2</sub> des différentes énergies fossiles émises lors de leur utilisation :

**Tableau 5.1** : Emissions de CO<sub>2</sub> produites par les différents combustibles [25]

Énergie fossile	g de CO <sub>2</sub> émis/kWh
Gaz naturel	205
Fioul domestique	271
Gaz propane	231
charbon	342
Fioul lourd	281

**5.2.1 Calcul des émissions de CO<sub>2</sub> générées par les énergies conventionnelles:**

➤ **Pour le gaz naturel :**

Pour une consommation de 1582,82 kWh/mois on aura :

$$1582,33 \times 205 = 324377,65 \text{ g} = 324,377 \text{ Kg de CO}_2 \text{ rejeté dans l'atmosphère/mois}$$

➤ **Pour le gaz butane :**

**Remarque :**

Sachant que le butane contient plus de carbone que le propane et puisque on n'a pas la valeur des émissions de CO<sub>2</sub> du gaz butane, on calcule l'émission du CO<sub>2</sub> pour le propane et par comparaison on estime la valeur des émissions du butane

Donc pour le propane on aura :

$$1582,33 \times 231 = 365518,23 \text{ g} = 365,518 \text{ Kg de CO}_2 \text{ rejeté dans l'atmosphère/mois}$$

⇒ Pour le butane on aura une valeur supérieure à 365,518 Kg de CO<sub>2</sub> rejeté dans l'atmosphère/mois

➤ **Pour le fioul domestique (mazout) :**

Pour une consommation de 1582,82 kWh/mois on aura :

$$1582,33 \times 271 = 428811,43 \text{ g} = 428,811 \text{ Kg de CO}_2 \text{ rejeté dans l'atmosphère/mois}$$

➤ **Pour l'électricité : [10]**

Le tableau ci-dessous illustre les émissions de CO<sub>2</sub> générées par la production d'électricité

**Tableau 5.2 :** Emissions de CO<sub>2</sub> générées par la production d'électricité

filère	g de CO <sub>2</sub> émis/kWh
Nucléaire	5
Charbon (600MW)	1003
Charbon (250MW)	1065
Fioul	988
Gaz (turbine combustion)	912
Gaz (haut-fourneau)	1682
Hydraulique (pompage)	132
Hydraulique (fil de l'eau)	5
diesels	985

Pour l'électricité, les émissions dépendent de l'énergie utilisée pour sa production.

**Constat :**

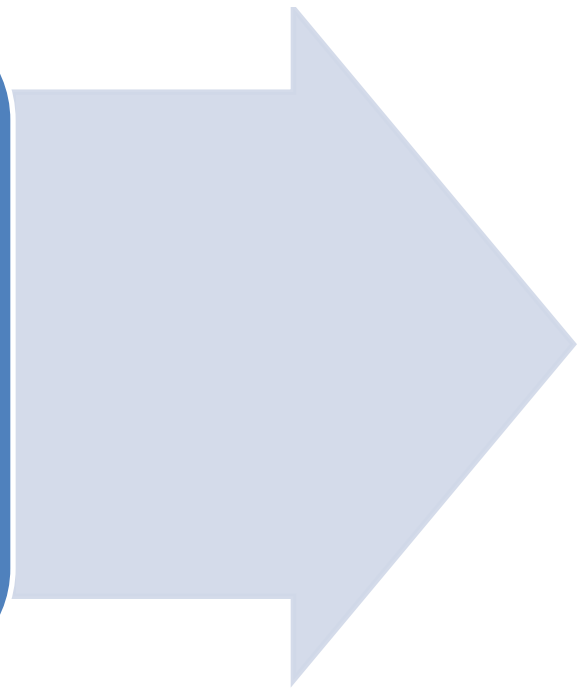
D'après cette étude sur l'impact environnemental on constate que les émissions de gaz à effets de serre sont très importantes en utilisant les énergies conventionnelles comme moyen du chauffage

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

**Conclusion :**

L'étude réalisée dans ce chapitre montre la nécessité de recours à l'énergie renouvelable qui permet une réduction considérable des émissions de gaz a effet de serre qui est une des priorités essentielles inscrites dans la loi de programme fixant les orientations de la politique énergétique[25], malgré son coût très élevée par rapport aux énergies conventionnelles tel que le gaz naturel, butane et le mazout.

**CONCLUSION  
GENERALE**



#### CONCLUSION GENERALE :

Le travail que nous avons entrepris nous a permis de découvrir non seulement l'aspect technique d'une installation solaire, mais aussi l'aspect économique et environnemental d'un tel investissement.

Après avoir déterminé les différents paramètres du gisement solaire, et calculer les déperditions thermiques de la maison individuelle d'une surface de  $S = 60.795 \text{ m}^2$ , nous avons pu déterminer la surface de captage nécessaire à la satisfaction des besoins en chauffage et en eau chaude sanitaire qui est de  $18.9 \text{ m}^2$ , ainsi que le volume de stockage qui permet d'accumuler l'énergie en vue de son utilisation immédiate ou en prévision de journées sans ensoleillement, nous avons aussi évalué le coût du kWh solaire et comparé aux prix du kWh issus d'énergies traditionnelles.

Les résultats auxquels nous sommes parvenus, montrent que sur le plan économique le choix d'une telle installation, même avec une subvention de l'état de 45%, reste relativement cher et non rentable comparée aux autres ressources disponibles, mais sur le plan environnemental, il est très indispensable de s'investir dans les énergies renouvelables pour assurer un monde meilleur aux générations futures.

Le changement climatique et le réchauffement planétaire provoqués par les émissions de  $\text{CO}_2$  dans l'atmosphère est de l'actualité dont on doit se mobiliser pour sauver notre planète de ces changements audacieux, l'Algérie et comme tous les pays du monde ont connu des impacts très sensibles sur son environnement tel que : **[26]**

- La température a augmenté de 1 à 2°C entre 1974 et 2004.
- Diminution de 40% du nombre de jours de neige dans plusieurs régions algériennes (Tlemcen, Djurdjura...)
- Phénomènes climatiques extrêmes plus fréquents (les vagues de chaleur et les inondations exp : dans les régions d'Alger, Ghardaïa et Béchar...)
- Des menaces lourdes que font peser la surconcentration des activités sur le littoral, la désertification, la pénurie d'eau et le changement climatique dans son ensemble, les pénuries d'hydrocarbures à un horizon prévisible.

## Conclusion

---

### Générale

Tous ces phénomènes sont déjà observés et ressentis, l'Algérie donc doit prendre des mesures très sévères pour réduire d'avantage ces méfaits provoqués par la surconsommation des énergies fossiles.

D'après l'étude effectuée dans ce projet, des tonnes de CO<sub>2</sub> sont à éviter par mois en utilisant le chauffage solaire dans le bâtiment et par conséquent le recours aux énergies nouvelles est donc une solution envisageable pour un développement durable et un avenir propre.



## Références bibliographiques

---

Enp 2012

- [1] : HANNAT Allaoua « Analyse thermo énergétique du cycle combiné de la centrale hybride solaire gaz naturel de HASSI R'MEL » mémoire d'ingénieur enp 2011.
- [2] : « le pompage photovoltaïque » manuel de cours à l'intention des ingénieurs et des techniciens par : Jimmy Royer, Thomas Djiako, Eric Schiler, Bocar Sada Sy. Université d'Ottawa 1998.
- [3] : RETScreen® International. Centre d'aide à la décision sur les énergies propres « manuel de l'utilisateur en ligne.
- [4] : BOULKAMH Mourad « contribution à l'étude, la simulation et l'analyse des pompe à chaleur assistées par l'énergie solaire » mémoire de magister 2008.université de Constantine
- [5] :Ch. CHAULIAGUET, P.BARATCABAL, J.P.BATELLIER « l'énergie solaire dans le bâtiment. Eyrolles paris 1981.
- [6] : D.Laplaze « le rayonnement solaire estimation et mesures ». Edition Erasme colombes. France 1990.
- [7] : BEKKOUCHE Sidi Mohammed El amine « modélisation du comportement thermique de quelques dispositifs solaire ».thèse doctorat université de Tlemcen.
- [8] : Philippe CHOUARD, Henri MICHEL, Michel F.SIMON « Bilan thermique d'une maison solaire, méthode de calcul rapide »
- [9] : « l'énergie renouvelable en Algérie et l'impact sur l'environnement ».10<sup>ème</sup> séminaire international sur la physique énergétique 2010.
- [10] : André JOFFRE « Energie solaire dans le bâtiment, chauffe eau solaire ». Technique de l'ingénieur BE 9 164
- [11] : J.Bernard « Energie solaire calculs et optimisation ». Edition ellipse 2004.
- [12] : QUOILIN Sylvain « les centrales à concentration » cours de l'université de Liège Faculté des sciences appliquées mai 2007
- [13] : Yves JANNOT « cours de thermique solaire » Janvier 2007.
- [14]: Incropera, DeWitt / Bergman / Lavine « fundamentals of Heat and Mass Transfer ».Ed. SIXTH.
- [15]: Chems eddine CHITOUR « Séminaire national sur les énergies renouvelables et la maîtrise de l'énergie en Algérie ». Editions sonalgaz juin 2008
- [16] : P.Amet, G.Goudron, Y.Guern, R.Jules, E.Marguet et F.Mykieta « Installer un chauffage ou un chauffe-eau solaire » Edition EYROLLES
- [17] : « Calcul et dimensionnement d'une installation de chauffage et production d'eau chaude sanitaire par énergie solaire d'une maison individuelle type pavillon » Mémoire d'ingénieur UMMTO 2007.

## Références bibliographiques

---

Enp 2012

- [18] : « Analyse de projet d'énergie propre »:manuel d'ingénierie et d'études de cas RETScreen. Ressources naturelles Canada.
- [19] : Centre météorologique de Tizi Ouzou (Algérie).
- [20] : Christos PARADOPOULOS« Instructions d'installation et d'utilisation ». Manuel technique MEGASUN
- [21] : professeur: Ir. michel huart « solaire thermique chauffe eau solaire ». Exposé n 4 du cours ENE 002 Energie non conventionnelles. Bruxelles 18 octobre 2005.
- [22] : <http://www.helioakmi.com/>
- [23] : l'Agence nationale pour la promotion et la rationalisation de l'utilisation de l'énergie « APRUE ».
- [24] : « facture de sonalgaz » DIRECTION GENERALE DEVELOPPEMENTS ET SYSTEMES DIRECTION DES NORMES ET SYSTEMES (**annexe 1**).
- [25] : « **conseil général des LANDES** » L'ENERGIE SOLAIRE THERMIQUE USAGES RESIDENTIEL ET COLLECTIF. ADEME Délégation Aquitaine
- [26] : Chems eddine CHITOUR « séminaire national sur l'énergie en Algérie, la nécessité du développement durable ».Edition SONATRACH - NAFTAL Juillet 2009



**DIRECTION GENERALE DEVELOPPEMENTS ET SYSTEMES**  
**DIRECTION DES NORMES ET SYSTEMES**

**BAREMES EN HORS TAXES**

**DES PRIX UNITAIRES ELECTRICITE ( Basse Tension ) et GAZ (Basse Pression)**  
**En (DA)**

A compter du 1<sup>er</sup> décembre 2005

Décision D/06-05/CD du 30 mai 2005

ELECTRICITE				GAZ							
Code Décret	Tarif SGC	Prix unitaires (HT) DA / kWh		Code Décret	Tarif SGC	Prix unitaires (HT) DA / Thermie					
54	01	Tranche 1	1.779	22	65 72 82	0.371					
		Tranche 2	4.179								
	02	4.179						66 71 84	0.371		
53	23	Nuit	1.064		23	67 74	Tranche 1				0.168
		Jour	4.299				83				Tranche 2
	26	Nuit	1.064			68 78 88		0.324			
		Jour	4.299								
52	22	Pointe	7.163	T A R I F  A G E N T	69 76 89	0.097					
		Hors Pointe	1.572								
	24	Pointe	7.163								
		Hors Pointe	1.572								
51	31	Pointe	7.163								
		Pleine	1.911								
		Nuit	1.064								
32	Pointe	7.163									
	Pleine	1.911									
	Nuit	1.064									
	19	0.418		Tarif agent ménage							
Tarif agent ménage				Tarif agent ménage							