

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

**FACULTE DES SCIENCES**  
**DEPARTEMENT DE PHYSIQUE**  
**N° :Ph/ENR/12/2023**



**FILIERE : PHYSIQUE**  
**OPTION : ENERGETIQUE ET**  
**ENERGIES RENOUVELABLES**

**Mémoire présenté pour l'obtention**  
**du diplôme de Master Académique**

**Par: CHABI Yasmine**

**Intitulé**

**Etude expérimentale d'un capteur solaire à air et**  
**à double vitrage**

**Soutenu le 25/06/2023 devant le jury composé de:**

SALMI Mohamed	Pr	Université Mohamed BOUDIAF	Président
NAHOUI Azzedine	MCA	Université Mohamed BOUDIAF	Rapporteur
BENMANSOUR Nadia	MCB	Université Mohamed BOUDIAF	Examinateur
HADDAD Zakaria	MCA	Université Mohamed BOUDIAF	Co-encadreur
AMROUNE Amina	Doctorante	Université Mohamed BOUDIAF	Invitée
TALOUB Djedid	MCA	Université Mohamed BOUDIAF	Membre-CATI

**Année universitaire : 2022/2023**

# *Dédicace*

*En témoignage d'amour et d'affection, je dédie ce modeste travail avec une grande fierté à tous ceux qui me sont chers*

*\*Ma très chère mère **Fadila**, qui a œuvré pour ma réussite, de par son amour, son soutien, tous les sacrifices consentis et ses précieux conseils, pour toute son assistance et sa présence dans ma vie.*

*\* Mon très cher père **Ahmed**, qui peut être fier et trouver ici le résultat de longues années de sacrifices et de privations pour m'aider à avancer dans la vie.*

*\*\*Que Dieu vous protège et que la réussite soit toujours à ma portée pour que je suis puisse vous combler de bonheur.*

*\*Mes chères frères **Mouhamed** et **Zakaria** et mes belles sœurs **Anfel**, **Mouchira** et **Ibetisem** puisse Dieu vous donne santé, bonheur et réussite.*

*\*Mon cher oncle **Ammar** merci pour tout l'amour que tu m'as donné.*

## *Remerciements*

Je remercie Dieu, tout puissant de m'avoir donné la force et la patience d'aller jusqu'au bout de ce travail.

Je remercie mon encadreur M<sup>r</sup> NAHOUI Azzedine, maitre de conférences à l'université Mohamed BOUDIAF Msila.

Qu'il trouve dans ces pages l'expression de mon profond respect.

Merci pour le choix du thème.

Merci pour tous, rigueur, disponibilité et conseils.

Mes remerciements vont à M<sup>r</sup> HADDAD Zakaria, maitre de conférences à l'université Mohamed BOUDIAF Msila d'avoir accepté de présider mon jury de soutenance.

Mes remerciements vont également à M<sup>elle</sup> BENMANSOUR Nadia, Maitre de conférences -B- à l'université Mohamed BOUDIAF Msila d'avoir accepté d'examiner mon travail.

Mes remerciements vont également à M<sup>elle</sup> AMROUNE Amina, Doctorante à l'université Mohamed BOUDIAF Msila d'avoir accepté d'examiner mon travail.

Mes remerciements vont aussi à M<sup>r</sup> TALOUB Djedid, maitre de conférences -A- à l'université Mohamed BOUDIAF Msila d'avoir accepté d'examiner mon travail et représentant de CATI.

Mes remerciements vont au professeur CHARIFI Zoulikha, Directrice du Laboratoire Physique et Chimie des Matériaux, LPCM

Mes remerciements vont aussi au professeur BOURSAS Abdelhakim, Chef d'équipe des systèmes photovoltaïques et paramètres climatologiques influents au sein du Laboratoire LPCM.

## Sommaire

Table des matières	
Nomenclature	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
<b>Introduction générale.....</b>	<b>1</b>
<b>Revue de travaux sur les capteurs plans à air .....</b>	<b>4</b>
<b>Chapitre I Généralités sur les capteurs solaires</b>	
<b>Introduction .....</b>	<b>9</b>
<b>2. Captation.....</b>	<b>9</b>
➤ <b>Energie solaire photovoltaïque.....</b>	<b>9</b>
➤ <b>Energie solaire thermodynamique.....</b>	<b>10</b>
➤ <b>Energie solaire thermique .....</b>	<b>11</b>
<b>3. Historique des capteurs solaires .....</b>	<b>11</b>
<b>4. Classification des capteurs.....</b>	<b>12</b>
<b>4.1. Capteurs tubulaires sous vide .....</b>	<b>12</b>
<b>4.1.1 Avantages et inconvénients des capteurs tubulaires sous vide.....</b>	<b>13</b>
<b>4.2. Capteur à concentration .....</b>	<b>14</b>
<b>4.2.1. Capteur cylindro-parabolique .....</b>	<b>14</b>
<b>4.2.2. Miroirs de Fresnel .....</b>	<b>15</b>
<b>4.2.3. Miroirs paraboliques.....</b>	<b>17</b>
<b>4.2.4. Centrale solaire à tour .....</b>	<b>18</b>
<b>4.3 Capteur plan .....</b>	<b>20</b>
<b>4.3.1. Capteurs non vitrés .....</b>	<b>20</b>

4.3.2. Capteurs plans vitrés à eau .....	22
4.3.3. Capteurs solaires plan vitré à air .....	22
<b>5. Fonctionnement d'un capteur solaire à air.....</b>	<b>24</b>
5.1. Avantages et inconvénients des capteurs plans vitrés.....	24
<b>6. Applications des capteurs solaires plans à air .....</b>	<b>25</b>
6.1. Chauffages et climatisation des habitations.....	25
6.2. Séchage .....	25
<b>Conclusion .....</b>	<b>26</b>

## **Chapitre II Étude théorique du capteur solaire double vitrage à air**

<b>Introduction .....</b>	<b>27</b>
<b>2. Capteur à double vitrage à air .....</b>	<b>27</b>
<b>3. Description générale d'un capteur à double vitrage .....</b>	<b>27</b>
3.2. Vitrages .....	27
3.2. Absorbeur.....	28
3.3. L'air, fluide caloporteur .....	29
3.4. Isolant .....	30
3.5. Le boîtier .....	30
<b>4. L'effet de serre.....</b>	<b>31</b>
<b>.5 Corps noir .....</b>	<b>32</b>
<b>6. Principe de fonctionnement d'un capteur solaire à air à double vitrage ..</b>	<b>32</b>
6.1. Paramètres caractérisant le fonctionnement d'un capteur plan .....	32
6.1.1. Paramètres externes .....	32
6.1.2. Paramètres internes .....	33
6.1.3. Paramètres de fonctionnements .....	33

<b>7. Différents modes de transferts thermiques dans un capteur solaire à air à double vitrage .....</b>	<b>33</b>
7.1. Conduction.....	33
7.1. Convection.....	34
7.2.1 Convection forcée .....	34
7.2.2. Convection libre ou naturelle .....	34
7.3. Le rayonnement.....	34
<b>8. Bilan thermique dans un capteur solaire thermique double vitrage .....</b>	<b>35</b>
<b>9. Bilan énergétique d'un capteur solaire plan.....</b>	<b>36</b>
9.1. L'énergie solaire absorbée par le capteur .....	36
9.2. L'énergie utile emmagasinée dans le fluide caloporteur .....	37
9.3. Rendement du capteur .....	37
<b>Conclusion .....</b>	<b>38</b>

### Chapitre III Réalisation et étude expérimentale

<b>Introduction .....</b>	<b>39</b>
<b>2. Montage du capteur à air à double vitrage.....</b>	<b>39</b>
<b>3. Caractéristiques Techniques des éléments constituant du capteur solaire plan à air à double vitrage.....</b>	<b>41</b>
<b>4. Principe de fonctionnement.....</b>	<b>43</b>
<b>5. Les instruments de mesures utilisés.....</b>	<b>44</b>
5.1. Mesure des rayonnements .....	44
5.2. Mesure des différentes températures .....	45
<b>6. Description de la procédure expérimentale.....</b>	<b>45</b>
6.1. Présentation de la région d'expérimentation.....	45

**Chapitre IV Résultats et discussions**

<b>1. Capteur à simple vitrage.....</b>	<b>47</b>
<b>2. Capteur à double vitrage .....</b>	<b>48</b>
<b>2.1. Rayonnements solaire global.....</b>	<b>48</b>
<b>2.2. Humidité du fluide caloporteur.....</b>	<b>48</b>
<b>2.3. Vitesse du vent.....</b>	<b>49</b>
<b>3. Comparaison entre le simple vitrage et le double vitrage.....</b>	<b>50</b>
<b>3.1. Températures des absorbeurs .....</b>	<b>50</b>
<b>3.2. Températures du fluide caloporteur.....</b>	<b>51</b>
<b>4. Effet de l'espace entre l'absorbeur et la vitre .....</b>	<b>51</b>
<b>4.1. Températures des absorbeurs .....</b>	<b>51</b>
<b>4.2. Températures du fluide caloporteur.....</b>	<b>52</b>
<b>Conclusion .....</b>	<b>52</b>
<b>Conclusion générale .....</b>	<b>53</b>
<b>Référence.....</b>	<b>54</b>
<b>Résumé</b>	

## Nomenclature

Symboles	Désignations	Unités
A	Energie absorbée	W/m <sup>2</sup>
G*	Puissance solaire globale reçue par le capteur	W/m <sup>2</sup>
h	Coefficient de convection	W/m <sup>2</sup> .C°
H <sub>R</sub>	Humidité relative de l'air	%
I	la puissance incidente	W
λ	Conductivité thermique	W/m.k
η	Rendement	%
E <sub>t</sub>	l'énergie transmise	W/m <sup>2</sup>
q	Flux de chaleur	W
φ	Flux échangé par convection	W
φ*	Energie solaire absorbée par le capteur	W
φ <sub>u</sub>	Energie utile emmagasinée dans le fluide caloporteur	W
φ <sub>a</sub>	Pertes thermiques	W
φ <sub>t</sub>	Energie d'inertie thermique de l'installation	W
R	Energie réfléchie	W/m <sup>2</sup>
S	Surface	m <sup>2</sup>
t	Temps	S
T <sub>ab</sub>	Température de l'absorbeur	C°
T <sub>amb</sub>	Température ambiante	C°
T <sub>ve</sub>	Température de vitre extérieure	C°
T <sub>vi</sub>	Température de vitre intérieure	C°
T <sub>p</sub>	Température de la paroi solide	C°
T <sub>fe</sub>	Température du fluide à l'entrée	C°
T <sub>fs</sub>	Température du fluide à la sortie	C°
T	Température absolue du corps	C°
ε	Facteur d'émission	–
σ / ε	Sélectivité	–
σ	Constante de Stefan-Boltzmann évaluée à 5, 6.10 <sup>-8</sup>	W/m <sup>2</sup> .K <sup>4</sup>
τ <sub>c</sub> *	Coefficient de transmission	–
α <sub>p</sub> *	Coefficient d'absorption solaire	–
i <sub>i</sub>	Isolant intérieur	–
v <sub>e</sub>	Vitre extérieure	–
v <sub>i</sub>	Vitre intérieure	–
e	Epaisseur	m
C <sub>p</sub>	Chaleur massique	J/kg.K
m	Masse	kg
ρ	Masse volumique	kg/m <sup>3</sup>
r <sub>c</sub> *	Coefficient de réflexion	–
G <sub>dir</sub>	Rayonnements direct	W/m <sup>2</sup>
G <sub>dif</sub>	Rayonnements diffus	W/m <sup>2</sup>



<b>Fig. I.1</b>	<b>Technologie des cellules photovoltaïque.....</b>	<b>10</b>
<b>Fig. I.2</b>	<b>Technologie des centrales solaires à concentration.....</b>	<b>10</b>
<b>Fig. I.3</b>	<b>Technologie capteurs solaires.....</b>	<b>11</b>
<b>Fig. I.4</b>	<b>Composants d'un capteur tubulaire sous vide.....</b>	<b>13</b>
<b>Fig. I.5</b>	<b>Capteur à tube sous vide.....</b>	<b>13</b>
<b>Fig. I.6</b>	<b>Schéma de principe d'un concentrateur cylindro-parabolique.....</b>	<b>14</b>
<b>Fig. I.7</b>	<b>Concentrateur cylindro-parabolique.....</b>	<b>15</b>
<b>Fig. I.8</b>	<b>Principe de fonctionnement des miroirs de Fresnel.....</b>	<b>16</b>
<b>Fig. I.9</b>	<b>Centrale solaire à miroir de Fresnel.....</b>	<b>17</b>
<b>Fig. I.10</b>	<b>Schéma de principe d'un concentrateur parabolique.....</b>	<b>17</b>
<b>Fig. I.11</b>	<b>Concentrateur parabolique.....</b>	<b>18</b>
<b>Fig. I.12</b>	<b>Schéma de principe d'une centrale à tour .....</b>	<b>19</b>
<b>Fig. I.13</b>	<b>Centrale solaire à tour .....</b>	<b>19</b>
<b>Fig. I.14</b>	<b>Classification des capteurs solaires plans.....</b>	<b>20</b>
<b>Fig. I.15</b>	<b>Description d'un capteur solaire non vitré .....</b>	<b>21</b>
<b>Fig. I.16</b>	<b>Capteur solaire non vitré .....</b>	<b>21</b>
<b>Fig. I.17</b>	<b>Chauffage de l'eau de la piscine.....</b>	<b>21</b>
<b>Fig. I.18</b>	<b>Coupe schématique d'un capteur plan vitré à eau.....</b>	<b>22</b>
<b>Fig.I.19</b>	<b>Capteurs solaires plan vitré à eau .....</b>	<b>22</b>
<b>Fig. I.20</b>	<b>Schéma d'un capteur plan vitré à air.....</b>	<b>23</b>
<b>Fig. I.21</b>	<b>Schéma de fonctionnement d'un capteur solaire à air.....</b>	<b>24</b>
<b>Fig. I.22</b>	<b>Chauffages est climatisation des habitations .....</b>	<b>25</b>
<b>Fig. I.23</b>	<b>Séchage solaire.....</b>	<b>26</b>
<b>Fig.II.1</b>	<b>Capteur à double vitrage à air.....</b>	<b>27</b>
<b>Fig.II.2</b>	<b>Vue du capteur à air à double vitrage .....</b>	<b>31</b>
<b>Fig.II.3</b>	<b>Principe de l'effet de serre.....</b>	<b>32</b>
<b>Fig.II.4</b>	<b>Principe de fonctionnement.....</b>	<b>33</b>

<b>Fig.II.5</b>	<b>Représentation des modes de transferts thermiques du capteur plan double vitrage.....</b>	<b>35</b>
<b>Fig.II.6</b>	<b>Schéma représentant Le mécanisme de transmission-absorption-réflexion du rayonnement solaire.....</b>	<b>37</b>
<b>Fig.III.1</b>	<b>Vue générale sur le capteur solaire à air à double vitrage .....</b>	<b>49</b>
<b>Fig.III.2</b>	<b>Assemblage et équipement du cadre.....</b>	<b>40</b>
<b>Fig.III.3</b>	<b>Vue générale sur les composants du capteur.....</b>	<b>41</b>
<b>Fig.III.4</b>	<b>Support incliné 36°.....</b>	<b>43</b>
<b>Fig.III.5</b>	<b>Davis Instruments Vantage Pro.....</b>	<b>44</b>
<b>Fig.III.6</b>	<b>Thermomètre digitale.....</b>	<b>45</b>
<b>Fig.III.7.</b>	<b>Situation de la ville de Msila.....</b>	<b>46</b>
<b>Fig.IV.1</b>	<b>Températures de l'air ambiant, de la vitre, d'entrée et de sortie du fluide caloporteur et celle de l'absorbeur pour un capteur à simple vitrage.....</b>	<b>47</b>
<b>Fig.IV.2</b>	<b>Rayonnements solaire global.....</b>	<b>48</b>
<b>Fig.IV.3</b>	<b>Humidité relative du fluide caloporteur.....</b>	<b>48</b>
<b>Fig.IV.4</b>	<b>Vitesse du vent.....</b>	<b>49</b>
<b>Fig.IV.5</b>	<b>Températures de l'air ambiant, de la vitre, d'entrée et de sortie du fluide caloporteur et celle de l'absorbeur pour un capteur à double vitrage .....</b>	<b>50</b>
<b>Fig.IV.6</b>	<b>Températures de l'air ambiant, de la vitre, d'entrée et de sortie du fluide caloporteur et celle de l'absorbeur pour un capteur à double vitrage.....</b>	<b>50</b>
<b>Fig.IV.7</b>	<b>Températures du fluide caloporteur.....</b>	<b>51</b>
<b>Fig.IV.8</b>	<b>Effet de l'espace entre vitre-absorbeur.....</b>	<b>51</b>
<b>Fig.IV.9</b>	<b>Températures du fluide caloporteur.....</b>	<b>52</b>

<b>Tableau II.1</b>	<b>Caractéristiques thermo-physiques de quelques matériaux transparentes..</b>	<b>28</b>
<b>Tableau II.2</b>	<b>Caractéristiques thermo-physiques de quelques matériaux métalliques.....</b>	<b>29</b>
<b>Tableau II.3</b>	<b>Propriétés thermo-physiques de l'air.....</b>	<b>29</b>
<b>Tableau II.4</b>	<b>Propriétés thermiques de quelque matériau isolant.....</b>	<b>30</b>
<b>Tableau III.1</b>	<b>Les caractéristiques techniques du capteur.....</b>	<b>42</b>
<b>Tableau III.2</b>	<b>Les paramètres caractérisant le site.....</b>	<b>45</b>

# **Introduction**

### Introduction générale

L'énergie a toujours été une préoccupation cruciale pour l'homme et la société. La disponibilité ou l'indisponibilité de l'énergie, ainsi que son abondance ou sa rareté, influencent fortement le comportement humain. Ces comportements entraînent à leur tour de nouveaux défis, notamment en matière de stabilité environnementale et socio-économique.

Reconnaître l'importance de ces enjeux, tels que le réchauffement climatique, l'épuisement des ressources et la hausse des coûts de santé, devrait idéalement nous conduire vers une utilisation plus raisonnable de l'énergie et une optimisation des processus énergétiques que nous mettons en œuvre au quotidien [1].

Depuis un quart de siècle, nous assistons à une crise énergétique mondiale, aujourd'hui exacerbée par la volatilité du prix du baril de pétrole entraînant une hausse des prix des énergies traditionnelles (électricité, chaleur, etc.).

Il en résulte une situation économique difficile dans les États et des conditions de vie sociales précaires pour la population.

Pour pallier le coût relativement élevé des énergies traditionnelles et leur pollution atmosphérique, il est nécessaire de se tourner vers les énergies renouvelables, notamment l'énergie solaire.

Cette dernière est une énergie inépuisable et propre, peut être utilisée efficacement dans de nombreux systèmes thermiques.

Les applications liées à l'utilisation de l'énergie solaire peuvent être regroupées en trois grandes catégories : chauffage et refroidissement, production d'énergie électrique et procédés chimiques.

Dans le contexte de la prise de conscience générale actuelle de l'incertitude énergétique et de la nécessité de lutter contre le réchauffement climatique, il est indispensable d'utiliser progressivement d'autres sources d'énergie non exhaustives et non polluantes.

Ainsi, dans certains pays, diverses formes d'énergies renouvelables occupent une place de plus en plus importante dans leur mix énergétique.

Selon le rapport du World Renewable Energy Network (REN21), en 2013, les énergies renouvelables représentaient 13,4 % dans l'UE, 12,9 % aux États-Unis et 20 % en Chine; la moyenne mondiale est d'environ 19 % [2].

En Algérie, le développement socio-économique, la forte démographie et la hausse du niveau de vie ont généré une forte demande en électricité et en gaz naturel, en croissance d'environ 10 % par an [3].

Le secteur résidentiel est énergivore, consommant plus de 40% de l'électricité.

La satisfaction de cette demande dépendra de plus en plus des volumes d'exportation.

En raison de cette forte demande et des réserves d'énergie réduites traditionnellement, les pays ont œuvré pour promouvoir les énergies renouvelables à travers notamment l'énergie solaire thermique et photovoltaïque.

De par sa situation géographique, l'Algérie dispose d'un immense champ solaire, l'un des plus grands au monde.

Presque tout le pays reçoit en moyenne 3000 heures d'ensoleillement par an.

Dans le sud du pays, le sol reçoit plus de 2260 kWh/m<sup>2</sup>/an [4,5].

Le développement des systèmes thermiques basés sur les énergies renouvelables est en plein essor ces dernières années et a fait l'objet de nombreux travaux et résultats.

En Algérie, la surface des systèmes collectifs installée actuellement est très faible (moins de 100m<sup>2</sup>).

En comparaison, les pays voisins comme la Tunisie et l'Espagne ont des capacités de plus de 14000 m<sup>2</sup> et 1420000 m<sup>2</sup> respectivement [6].

Le cas particulier des capteurs solaires thermiques est constamment développé, amélioré et devenu ainsi une partie importante de notre vie quotidienne.

Les capteurs solaires plans sont des classes très utiles et apportent la réponse à la conversion d'énergie pour les applications de champ thermique.

Les capteurs solaires à air à panneau plan convertissent l'énergie solaire en énergie thermique extraite par l'air circulant à travers le capteur [7].

Cette énergie est utilisée dans diverses applications telles que le séchage des aliments (légumes, fruits, poissons...), du bois, de nombreux produits industriels.

Elles présentent plusieurs avantages pratiques, en effet l'utilisation directe de l'air pour sécher les produits dans l'industrie, peut des économies d'énergie sont réalisées, c'est pourquoi les développements récents autour des questions environnementales ont figuré en bonne place dans les bureaux d'études, notamment dans le secteur industriel.

Pour générer de l'énergie solaire thermique, plusieurs capteurs solaires plats aux performances différentes ont été conçus.

Diverses études ont été réalisées sur leurs performances et les résultats sont présentés pour les paramètres du capteur en fonction des composants du capteur, à savoir : verre, fluide caloporteur, absorbeur et système d'isolation.

Plusieurs travaux ont été menés pour améliorer les performances thermiques, principalement le rendement, la quantité de chaleur extraite par l'air depuis l'entrée du capteur jusqu'à la sortie, l'écart de température rapporté au rayonnement globale reçu...etc.

Notre mémoire s'articule autour de deux parties :

1. La première partie est l'étude théorique.
2. La deuxième partie est axée sur l'aspect pratique de notre travail ou on a abordé en un chapitre la conception et la réalisation.

Pour mener à bien ce travail, trois chapitres ont été proposés :

- Le premier chapitre est consacré aux généralités et aux nouveautés dans l'art des capteurs solaires thermiques.

Les collecteurs seront décrits en examinant leurs composants et leur effet sur leurs performances. Les principaux travaux sur les performances de ces capteurs seront analysés spécifiquement autour des capteurs solaires thermiques à air.

- Le deuxième chapitre est consacré à la présentation des équations du bilan thermique des différents éléments du capteur solaire à double vitrage, de leurs propriétés et des facteurs affectant leurs performances.
- Le troisième chapitre est traite les différentes étapes de réalisation du capteur solaire et le choix de chaque composant.
- Le quatrième chapitre est consacré à l'étude expérimentale d'un capteur solaire thermique à double vitrage à air, exposé sur les résultats obtenus des mesures prises pendant trois jours du mois de mai et de juin de l'année en cours.

# **Recherches bibliographies**

## Revue de travaux sur les capteurs plans à air

### Introduction

Les capteurs solaires plans à air sont le système le plus simple pour le chauffage sanitaire et le séchage .Dans ce chapitre, nous citerons les principaux travaux réalisés sur la modélisation théorique et leurs expérimentations.

### Revue

**F. CHABANE, and E. SEKSEFF** ont étudié expérimentalement un capteur solaire à air à double vitrage dans le site de Biskra, Algérie. Ils ont prouvé que le double vitrage a amélioré nettement les performances de tel capteur solaire. Donc ils ont pu minimiser les pertes de chaleur vers l'avant pour améliorer les performances thermiques de ce type de capteurs solaires. L'air utilisé comme fluide caloporteur repose sur plusieurs principes, notamment la conservation de l'énergie thermique en minimisant les pertes de chaleur vers l'avant. Ils ont fait une étude descriptive d'un banc d'essai, en effet, ils ont fait des mesures sur un capteur solaire à double vitrage. Un capteur solaire à double vitrage est construit et installé sur le site de Biskra, Algérie là où ils ont fait leurs mesures. Les résultats expérimentaux obtenus ont montré que l'ajout d'une deuxième couche de verre a pu réduire efficacement les pertes de chaleur vers l'avant de ce type de capteur solaire à air. Ils ont fixé comme objectif principal d'améliorer les performances d'un capteur solaire à air à double en menant une étude expérimentale au site dudit de Biskra. À cet effet, les valeurs mesurées avec simple vitrage et double vitrage sont comparées en agissant sur le débit du fluide caloporteur [1].

**MAME MOR DIARRA NDIAYE** a étudié numériquement et expérimentalement les performances thermiques d'un capteur solaire plan double-passe destiné à la production d'air chaud pour améliorer les performances de tel capteur, permettant ainsi l'amélioration des qualités nutritives des produits à sécher. Une comparaison des températures mesurées et calculées a permis de valider le modèle théorique adopté par la présente étude [2].

**HADJ AMMAR Mohammed Ali et MENECEUR Nouredine** ont fait une étude comparative des performances des capteurs solaires à simple vitrage et double vitrage au site dudit région d'El Oued au sud algérien. L'étude qu'ils ont menée a permis d'estimer les déperditions calorifiques, les gains de chaleur et la détermination du rendement pour les deux types de capteurs solaires, à simple ou double vitrage. Ils ont montré que le double vitrage améliore nettement les performances thermiques et optiques de ce type de capteurs par rapport au même modèle avec du simple vitrage [3] .

**K. AOUES et al** ont étudié un capteur solaire planaire à air et ils ont réalisé et testé au niveau d'un laboratoire dans une région de Biskra. A cet effet, quatre configurations ont été étudiées, avec deux formes d'obstacles (Modèle 1 et Modèle 2) et deux dispositions de ces obstacles (A et B), placés dans le flux d'air. Une partie du travail fait a contribué à l'optimisation d'un capteur solaire planaire à air par l'ajout d'obstacles. L'ajout de ces obstructions dans le cheminement prévu pour le fluide caloporteur a augmenté l'échange thermique avec l'absorbeur. Ils ont pu réaliser que la géométrie du canal dans la section transversale perpendiculaire à l'écoulement, a ses les effets positifs sur le système. Ainsi, la comparaison des performances des quatre configurations étudiées a conduit à retenir la configuration B1 (baffle modèle 1) comme la configuration capable d'obtenir le meilleur rendement [4].

**S. OUDJEDIL et al** ont proposé une isolation par air mono-passe entre absorbeur et verre destinée à une application dans le séchage solaire de produits alimentaires (tomates). Le capteur à air étudié dans cet article est un isolateur à simple passe entre l'absorbeur et la vitre. Un investigateur des échanges thermiques instationnaires dans un tel capteur est présenté. Ils ont montré qu'en régime semi stationnaire les équations de bilan thermique des composants du capteur cascaded en une équation différentielle ordinaire de premier ordre, qui à elle seule à régir le comportement thermique du capteur. L'influence de divers paramètres tels que la température d'entrée du fluide, sa vitesse et la hauteur de la tranche d'écoulement d'air sur les exhibitions thermiques du capteur solaire à air est aussi étudiée. Elle est complétée par une analyse de l'influence de divers facteurs, tels que la température d'entrée du fluide caloporteur, la vitesse de l'air humide de ce fluide et la distance entre l'absorbeur et la fenêtre, sur le comportement thermique du fluide du capteur [5].

**C.Q. CHEN et al** dans leur étude, ils ont proposé un capteur plan à air (FPSAC) à double vitrage pour améliorer les performances thermiques du FPSAC à basse température ambiante et à haute température d'entrée. Les performances thermiques de différents types de FPSAC à double vitrage à basse température ambiante et à haute température d'entrée ont été évaluées par simulation numérique, et les résultats ont été comparés à ceux du FPSAC à simple vitrage. La fiabilité du modèle numérique est vérifiée par quatre modèles numériques, à savoir simple verre (modèle1), le double verre rempli d'air (modèle 2), le double verre rempli d'Argon (modèle 3) et Verre sous vide (Type 4) [6].

**ANDREI-STELIAN BEJAN et al** ont présente une revue de la littérature sur les capteurs solaires à air agissant comme un mur solaire, en mettant l'accent sur les capteurs solaires transpirants. Les applications existantes sont résumées et les performances et avantages sont

discutés. Leur étude a porté sur les types de capteurs solaires à air utilisés et ont établi une classification basée sur les différentes applications trouvées. En outre, les principaux paramètres des capteurs solaires opaques sont présentés et certains cas particuliers sont mis en évidence. L'étude bibliographique permet de constater que les capteurs solaires transparents sont des systèmes rentables qui peuvent être utilisés pour recueillir l'énergie du Soleil [7].

**A. BENKHELIFA** a présenté un modèle mathématique permettant de calculer les pertes de chaleur de la surface supérieure (entre l'absorbeur et l'atmosphère) d'un capteur solaire. Après avoir comparé les résultats obtenus avec ceux des relations empiriques rencontrées dans la littérature, a utilisé des procédures informatiques pour étudier l'influence de certains facteurs physiques et chimiques. Ensuite il a étudié l'influence de certains paramètres physiques et géométriques sur le coefficient de perte de chaleur du capteur à l'aide d'un programme de calcul tel que le coefficient de perte de chaleur sur la surface supérieure du capteur solaires à panneaux plats [8].

**B. TOUATI et al** ont effectué des travaux comprenant des études théoriques et expérimentales de capteurs solaires à air à convection forcée à cycle simple pour le chauffage domestique. La modélisation est basée les équations des bilans thermiques des éléments du capteur tels que les plaques absorbantes, les capots transparents et les fluides caloporteurs. Le code de calcul adopté pour la résolution du modèle mathématique via le logiciel Matlab. Des simulations numériques ont permis de déterminer le profil de température de tous les éléments du capteur et par conséquent la détermination des performances de ces éléments. Dans la partie expérimentale, ils ont pu implanter et tester un capteur solaire à air recyclé à convection simple forcée, au Centre de Recherche sur les Energies Renouvelables en Milieu Désertique d'Adrar (U.R.E.R/MS) [9].

**OMOJARO et al** ont étudié expérimentalement et numériquement deux différentes configurations des capteurs solaires à air simple et double passe avec des ailettes , ils ont constaté que l'efficacité du capteur augmente quand le débit massique augmente du 0.012kg/s vers 0.038 kg /s , aussi leurs résultats montrent que la différence de la température atteint 36.93 °C et 59.62°C pour simple et double passe respectivement [10].

**BAHREHMAND et al** ont présenté une étude énergétique et exégétique d'un capteur solaire à air avec simple et à double vitrage, ils ont développé des différents modèles mathématiques pour les systèmes à flux de convection naturelle. Ces modèles sont basés sur une solution analytique des équations d'énergie pour divers éléments du capteur. Les résultats obtenus sont validés par des résultats expérimentaux d'autres chercheurs [11].

**Filiz et al** ont étudié expérimentalement les performances thermiques d'un capteur solaire à air avec des canaux en aluminium et le comparent avec un capteur à air simple passe, leurs résultats montrent que la première configuration augmente le transfert de chaleur en comparant avec un absorbeur simple ceci augmente le rendement du capteur [12].

**Pierre D et al** Dans cette étude, ils modélisent thermodynamiquement un capteur solaire conventionnel à double vitrage forcé conçu à des fins de chauffage et de séchage. A cet effet, un système d'équations a été établi pour contrôler le comportement thermique du capteur et différents coefficients d'échange thermique et pour les résoudre numériquement, permettant d'obtenir la distribution horaire de température des différents éléments du capteur ce qui permet d'analyser les performances de le système. L'effet de la modification des dimensions du bateau et de la vitesse de l'air sur ses performances a également été analysé. Les résultats sont représentés graphiquement par la distribution horaire des éléments collecteurs, les directions des courbes sont cohérentes avec les travaux connexes précédents et la température ambiante pendant la journée est affectée par le rayonnement solaire. La température de sortie du capteur solaire diminue le matin en raison de la température ambiante plus basse et de l'intensité de l'énergie solaire plus faible. Les moments optimaux pour générer des températures élevées se situent entre 11 h 00 et 19 h 00. Une augmentation de la longueur du capteur solaire entraîne une augmentation des températures de sortie du capteur. Le système analysé a montré la génération de températures élevées pour assurer son application à diverses fins de chauffage [13].

**H.Vetrivel et P.Mathiazhagan** ont mené des recherches expérimentales qui ont réussi à obtenir les résultats suivants :1. Une efficacité de collecte de 55% est obtenue pour le système à double vitrage, tandis que le système à simple vitrage n'a que 12% avec la même intensité solaire et les mêmes dimensions. L'intensité du soleil et les mêmes dimensions.

2. Le coefficient de transfert de chaleur de perte supérieur est inférieur pour le double vitrage que pour le système de vitrage simple.

3. Le volume d'eau collectée est plus important dans le cas d'un double vitrage que dans le système à simple vitrage.

4. La température maximale de sortie était de 650°C pour le système à double vitrage, mais de 520°C pour le système à simple vitrage.

5. La température de sortie du système de double vitrage est de 100 à 15 °C supérieure à celle du système de simple vitrage. 6 L'amélioration de l'efficacité des capteurs solaires à plaques planes peut être envisagée pour de futures recherches [14].

### **Conclusion**

L'objectif de ces travaux, c'est l'amélioration des performances des capteurs solaires et permettent d'obtenir de meilleures performances ou une meilleure efficacité thermique de ces systèmes.

Une étude détaillée de la littérature sur les capteurs solaires plan à air a été réalisée et elle nous a permis d'avoir un aperçu concis des développements dans les domaines clés des technologies pour améliorer les performances d'un système ou de concevoir un nouveau système.

# **Généralités sur les capteurs solaires**

## **Généralités sur les capteurs solaires**

### **Introduction**

Soleil, la source d'énergies renouvelables qui équilibre la vie humaine sur terre. L'utilisation de cette énergie est ancienne et il peut être classé selon différentes époques de développement technologique et industriel.

L'énergie solaire est l'énergie libérée par le soleil sous forme de rayonnement direct ou de rayonnement diffus.

Sur la terre, l'énergie solaire est la source de la circulation de l'eau et du vent, et la royauté végétale, dont dépend le règne animal, la convertit également en énergie chimique par la photosynthèse pour l'utilisation. Grâce à divers traitements, elle peut être transformée en une autre forme d'énergie utile aux activités humaines, notamment la chaleur, l'électricité ou la biomasse.

La technologie solaire offre un énorme potentiel pour répondre aux besoins énergétiques de la planète. Cependant, l'utilisation de cette source d'énergie est encore limitée dans le monde. Le principal facteur est lié au coût initial élevé de construction du système. Le rayonnement solaire est un rayonnement électromagnétique émis par le soleil qui peut être capté et converti en énergie utile telle que la chaleur et l'électricité à l'aide de diverses technologies.

Cependant, la faisabilité technique et le fonctionnement économique de ces technologies sur un site donné dépendent des ressources solaires disponibles [1,2].

Dans ce chapitre, on passe par les différentes techniques pour capter une partie d'énergie solaire ensuite une revue l'historique des capteurs solaires. Une classification des différents types de capteurs solaires et une description de leur fonctionnement seront présentées.

### **2. Captation**

La technologie énergétique a permis l'exploitation et le captage de l'énergie solaire sous plusieurs formes, notamment :

#### **➤ Energie solaire photovoltaïque**

Elle permet de produire de l'électricité par transformation d'une partie du rayonnement solaire avec des cellules photovoltaïques.

Les photopiles utilisent l'effet photovoltaïque, elles sont formées d'une couche d'un matériau semi-conducteur et d'une jonction semi-conductrice [3].



**Fig. I.1 : Technologie des cellules photovoltaïque [4].**

➤ **Energie solaire thermodynamique**

L'énergie solaire thermodynamique est produite via des centrales solaires à concentration. Il s'agit d'un assemblage de miroirs contenant des fluides caloporteurs, couplés à un générateur d'électricité solaire.

Cette technologie adopte des miroirs qui convertissent l'énergie collectée par les rayons du soleil en chaleur. Cette chaleur a une température très élevée. Bien au-dessus de la température à laquelle il a été recueilli. Elle peut aller de 250 à 800 degrés selon la technique employée [5].

Cette chaleur sera convertie en électricité au moyen d'une turbine et d'un alternateur comme dans une centrale thermique.



**Fig. I.2 : Technologie des centrales solaires à concentration [6].**

### ➤ Energie solaire thermique

Cette technologie adopte les capteurs solaires thermiques qui contiennent des fluides caloporteurs. Une fois qu'ils sont chauffés par le soleil, les fluides commencent à chauffer le ballon d'eau chaude.



**Fig. I.3 : Technologie capteurs solaires [7].**

Les capteurs solaires ont toujours été un élément essentiel des équipements de conversion de chaleur et se présentent sous différentes formes et conceptions. Les études de leur évolution dans le temps ont montré que leurs différents prototypes présentent des architectures diverses, adaptables à l'environnement d'utilisation et au type de fluide caloporteur.

### 3. Historique des capteurs solaires

L'idée d'utiliser des collecteurs d'énergie solaire pour exploiter la puissance du soleil remonte à la préhistoire lorsqu'en 212 av. J.-C. le scientifique/médecin grec Archimède a conçu une méthode pour brûler la flotte romaine. Archimède aurait mis le feu à la flotte romaine attaquante au moyen d'un miroir métallique concave sous la forme de centaines de boucliers polis; tous reflétant sur le même navire [8].

En 1780, l'effet de serre est accentué en installant du verre au-dessus de l'absorbeur dans un caisson isolant. Cependant, ce n'est qu'en 1910 que les premiers chauffe-eau solaires sont apparus. Comme de nombreuses filières d'énergies renouvelables, le solaire thermique a connu une phase de croissance majeure entre 1973 et 1985 en réponse à la crise pétrolière. Mais ce développement rapide a conduit à de nombreuses sous-performances en raison de compétences ou d'installateurs insuffisants.

A la fin du 18<sup>ème</sup> siècle, Lavoisier construit un four solaire d'une température de 1800°C. Pour ce faire, il utilise des lentilles liquides pour concentrer les rayons du soleil. En 1816, Robert Stirling a révolutionné l'industrie avec l'invention du "moteur à air chaud" à 4 temps (maintenant appelé le "moteur Stirling").

Au XIX<sup>e</sup> siècle, Augustin Mouchot a développé de nombreuses inventions :

La pasteurisation solaire, la distillation solaire, la cuisson solaire, les pompes solaires, les concentrateurs paraboliques fournissent des moteurs thermiques.

Il installa un réflecteur de 5 mètres de diamètre qui fut associé à la machine à vapeur qui entraînait l'imprimerie.

En 1910, Franck Shuman construit une centrale solaire thermique à l'échelle industrielle. A la fin du XX<sup>e</sup> siècle, après divers prototypes, diverses centrales et fours solaires à concentration voient le jour. De même, de 1984 à 1991, de nombreux centraux miroirs L'usine la parabole est apparue.

#### **4. Classification des capteurs**

On peut classer le capteur solaire selon la température ; les capteurs à faible température, moyen température, haut température [8,11] :

- Capteur à tube sous vide
- Capteur à concentration
- Capteur plan

##### **4.1. Capteurs tubulaires sous vide**

Le collecteur sous vide permet d'atteindre des températures plus élevées (120°C). Ils sont constitués de tubes de verre dans lesquels se trouve un absorbeur sélectif. Le vide généré dans le tube permet de réduire fortement les déperditions thermiques du capteur ce capteur est qu'il peut être disposé selon n'importe quelle inclinaison, ce qui facilite son intégration. Ils captent les rayonnements directs et diffus.

Dans ces collecteurs, chaque ailette de l'absorbeur est logée dans un tube cylindrique transparent dans lequel un vide poussé d'environ  $10^{-3}$ bar est généré.

Les capteurs solaires sous vide comprennent :

- Une série de tubes en verre sous vide.
- Absorbeur fixé dans tube de verre.
- Tube de cuivre à l'intérieur du tube de verre [11].

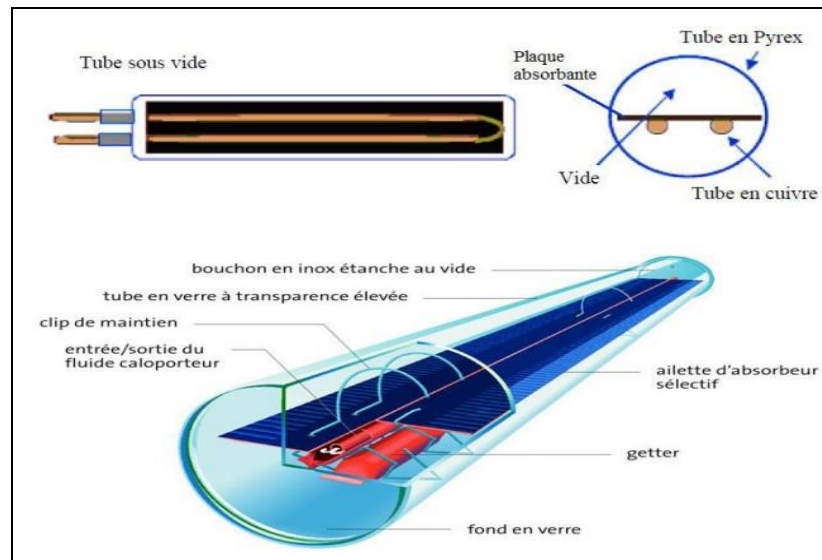


Fig. I.4 : Composants d'un capteur tubulaire sous vide [12].

#### 4.1.1 Avantages et inconvénients des capteurs tubulaires sous vide

##### Avantages

- stabilité opérationnelle.
- efficacité du travail aux indicateurs de basse température (jusqu'à  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).
- la capacité d'accumuler des températures jusqu'à  $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
- disponibilité de réparation et possibilité de modifier non pas l'ensemble du système.

##### Inconvénients

- contraintes thermiques sur les matériaux importantes.
- coûts plus élevés.
- Capteurs ne sont pas en mesure de s'auto-nettoyer du givre, de la glace et de la neige.



Fig. I.5 : Capteur à tube sous vide [13].

## 4.2. Capteur à concentration

Il s'agit de réflecteurs en demi-cylindre qui renvoient et concentrent l'énergie solaire sur un tuyau métallique en serpentín où circule un fluide caloporteur dans un collecteur parabolique, le réflecteur est un paraboloïde de révolution [14].

Il y a plusieurs types des capteurs à concentration

### 4.2.1. Capteur cylindro-parabolique

Les concentrateurs cylindro-paraboliques se distinguent par leur simplicité : ils sont disposition cylindrique sous forme de modules avec réflecteurs paraboliques [15]. Il se compose d'un long miroir (généralement recouvert d'un placage en argent ou en aluminium poli), de forme rectangulaire, parabolique, et complété par un tube à enveloppe à vide (tube Dewar) s'étendant sur toute sa longueur.

Les rayons du soleil sont réfléchis par le miroir et convergent vers le ballon Dewar [16].

Une centrale solaire thermique CCP se compose de trois parties principales : champ solaire, qui utilise une série de longs concentrateurs paraboliques cylindriques.

- Système de transfert de chaleur.
- Système de production d'énergie (turbine + générateur) [17].

Les panneaux sont généralement alignés le long d'une statique axe principal nord-sud et pivoter dans le plan vertical correspondant pour suivre le plan elliptique du soleil pendant la journée.

L'énergie capturée dans le Dewar est généralement constituée de diverses huiles température. La température est d'environ 400°C par le circuit de transfert externe, la chaleur du fluide chauffe la vapeur d'un turbogénérateur standard [18].

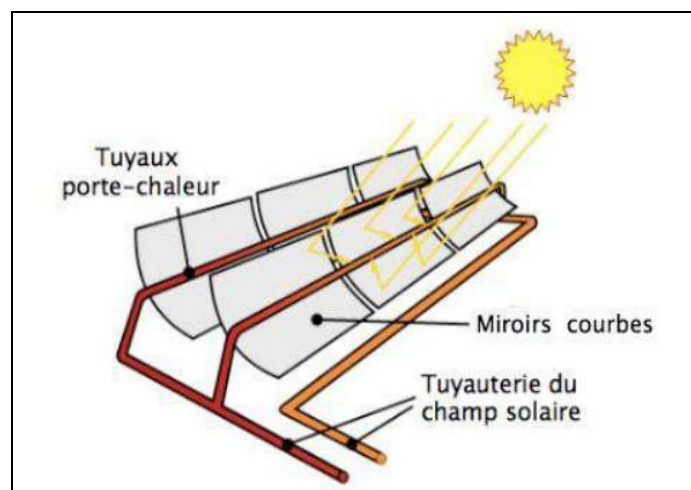


Fig. I.6 : Schéma de principe d'un concentrateur cylindro-parabolique [19].

#### 4.2.1.1. Avantages et inconvénients de concentrateur cylindro-parabolique

##### Avantages

- Technologie représentative du système de miroir parabolique cylindrique
- La crème solaire concentrée la plus développée et donc la plus disponible dans le commerce.
- Le taux de rendement net de 15 % pour ce type de centrale a été démontré par commercial.
- Coûts d'investissement et d'exploitation avérés.
- Le système est modulaire.
- Le système a un bon coefficient d'occupation des sols.
- Faibles besoins en matériaux.

##### Inconvénients

- Température très élevée au niveau du champ du miroir cylindrique parabolique donc la dissipation thermique est importante.
- Nous n'avons pas encore trouvé le fluide caloporteur idéal à utiliser.
- Dans le domaine des miroirs paraboliques cylindriques. Il s'agit d'un problème potentiel en raison des longs pipelines qui traversent le champ pétrolifère jusqu'à l'usine de production de vapeur.



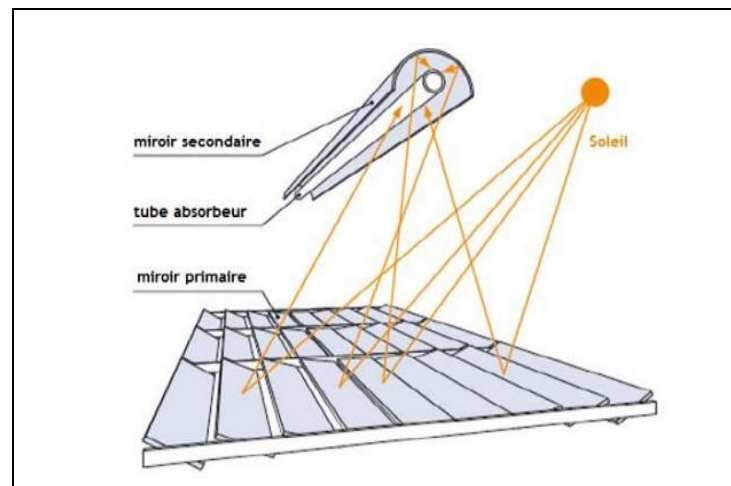
**Fig. I.7 : Concentrateur cylindro-parabolique [20].**

#### 4.2.2. Miroirs de Fresnel

La technologie des capteurs solaires de type Fresnel a sa place dans le domaine de la technologie de l'énergie solaire à concentration, et son objectif est de développer cette technologie de conversion de l'énergie solaire.

La technologie a été inventée par le physicien français Augustin Fresnel et est destinée à être utilisée dans les systèmes optiques des feux de signalisation marins, ces types ont d'abord été appliqués à la concentration solaire par Francia (1968), qui a développé le suivi Fresnel à un axe et à deux axes sont deux types de réflecteurs.

Le principe de fonctionnement de ce type de capteur concentré est basé sur un système de miroirs planés, orientés en direction du récepteur pour réfléchir et concentrer le rayonnement solaire direct vers un ou deux tubes absorbants fixes ou mobiles [21].



**Fig. I.8 : Principe de fonctionnement des miroirs de Fresnel [19].**

#### **4.2.2.1 Avantages et inconvénients des miroirs de Fresnel**

##### **Avantages**

- Les miroirs plans sont plus simples à fabriquer et mieux marché que les paraboliques
- Les contraintes mécaniques imposées par la poussée du vent sont réduits grâce à la disposition de miroirs.
- Source d'énergie inépuisable et gratuite

##### **Inconvénients**

- Performances optiques inférieures d'environ 30% par rapport aux réflecteurs paraboliques et cylindro-paraboliques.



Fig. I.9 : Centrale solaire à miroir de Fresnel [22].

#### 4.2.3. Miroirs paraboliques

Le capteur parabolique a la même forme que l'antenne parabolique et fonctionne de manière autonome. Ils se positionnent automatiquement et suivent le soleil sur les deux axes pour réfléchir et concentrer les rayons du soleil en un point de convergence appelé point focal.

Ce point focal est le récepteur du système. Il s'agit généralement d'une enceinte fermée contenant un gaz dont la température augmente sous l'effet de la concentration.

Cela entraîne un moteur Stirling qui convertit la chaleur solaire en énergie

Mécanique puis électrique. Le rapport de concentration de ce système est généralement supérieur à 2000 et la température du récepteur peut atteindre 1000 °C.

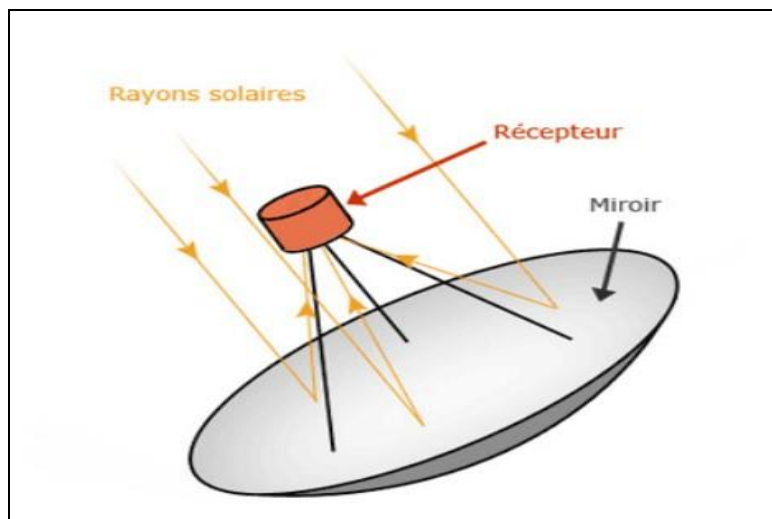


Fig. I.10 : Schéma de principe d'un concentrateur parabolique [19].

#### 4.2.3.1. Avantages et inconvénients de miroirs paraboliques

##### Avantages

- Source d'énergie inépuisable et gratuite.
- Pas d'émissions polluantes.
- Bon rendement.
- Petites unités indépendantes.

##### Inconvénients

- Fonctionnement par intermittences.
- Moins à la production de grande échelle par rapport aux centrales à capteurs cylindro-parabolique et tour solaire à concentration.



Fig. I.11 : Concentrateur parabolique [23].

#### 4.2.4. Centrale solaire à tour

Sont des centrales de production d'électricité à partir l'énergie du Soleil.

Il contient deux blocs :

- Blocs solaires sont constitués d'une série de miroirs plats appelés héliostats, formant un champ concentré par des tours. Ces héliostats sont orientés indépendamment les uns des autres. Ils suivent le rayonnement solaire selon deux axes pour le capter et le réfléchir vers des récepteurs situés au sommet de la tour afin de convertir l'énergie solaire en chaleur.
- Bloc d'alimentation, qui utilise un système de conversion thermoélectrique. Il se compose d'un système d'eau sous la forme d'une chaudière qui produit de la vapeur sèche. Cette vapeur active une turbine, qui entraîne un générateur pour produire de l'électricité à la fin [24].

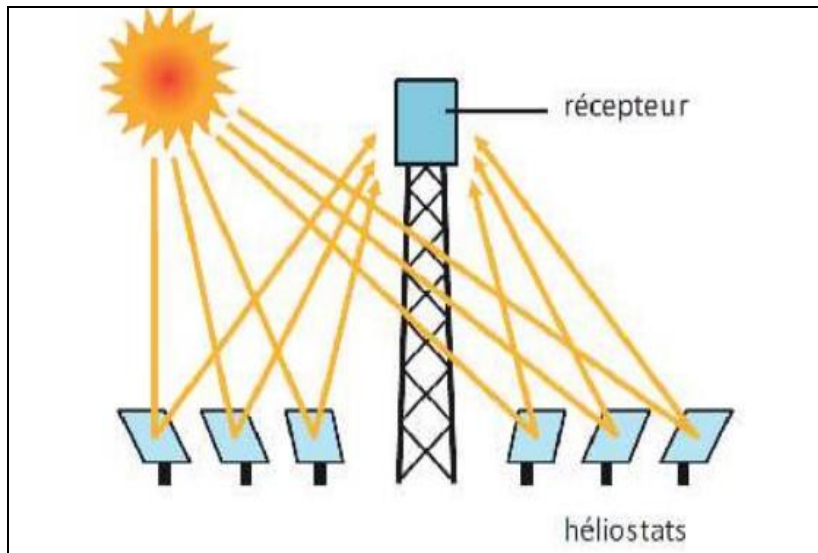


Fig. I.12 : Schéma de principe d'une centrale à tour [19].

#### 4.2.4.1. Avantages et inconvénients d'une centrale à tour

##### Avantages

- Source d'énergie inépuisable et abondante
- Pas de combustible ni d'émission polluante
- Permet de valoriser des zones désertiques

##### inconvénients

- Nécessite un fort ensoleillement
- Surface au sol importante
- elles ne peuvent pas produire d'électricité la nuit.



Fig. I.13 : Centrale solaire à tour [25].

### 4.3 Capteur plan

L'un des types des capteurs thermique, on trouve le capteur solaire plan, il s'agit d'un dispositif de grande surface de collecte produisant de températures et peu sensibles à l'angle d'incidence du rayonnement qui convertit le rayonnement solaire en chaleur pour le transmettre à un fluide [26], c'est-à-dire transformer le rayonnement solaire qu'il reçoit en énergie calorifique utilisable, par un fluide caloporteur (air, eau,...) qui joue le rôle de l'intermédiaire.

Il y a deux types des capteurs solaire plan

- Capteurs plans non-vitrés
- Capteurs plans vitrés

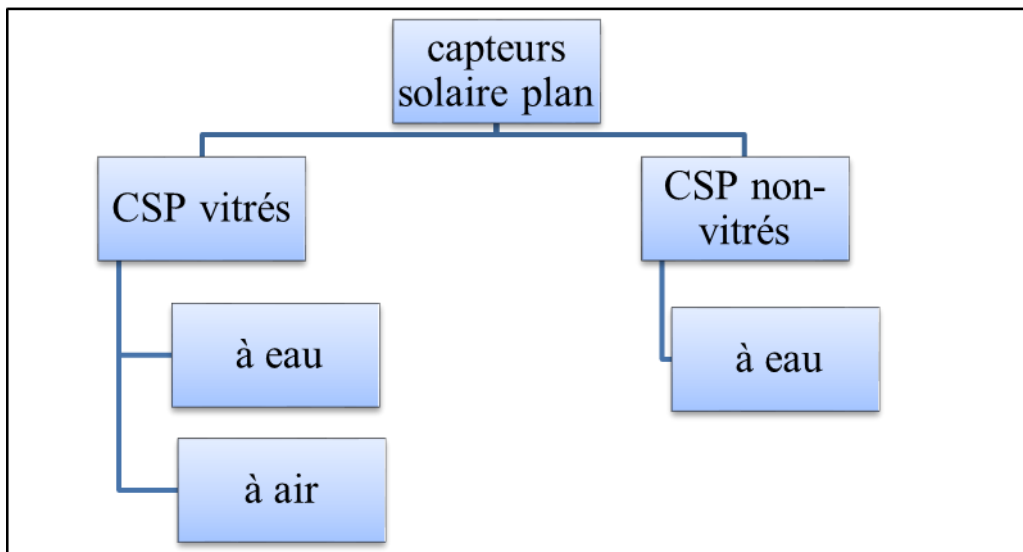


Fig. I.14 : Classification des capteurs solaires plans.

#### 4.3.1. Capteurs non vitrés

Les capteurs solaires non vitrés, également appelés capteurs "moquette", sont constitués de :

Absorbeurs (métalliques ou synthétiques) peints avec une peinture sélective foncée, un faisceau de tubes cylindriques ou ovales, résistant aux radiations Rayons UV et changements de température.

L'eau (fluide caloporteur) traverse les tubes. Lorsque l'eau s'écoule dans les tuyaux, l'eau se réchauffe. Ces capteurs solaires ne sont généralement pas isolés. Ainsi, en sortie de sonde, la température de l'eau ne dépassera pas 20°C. La seule application des capteurs solaires non vitrés est le chauffage de l'eau de la piscine [27].

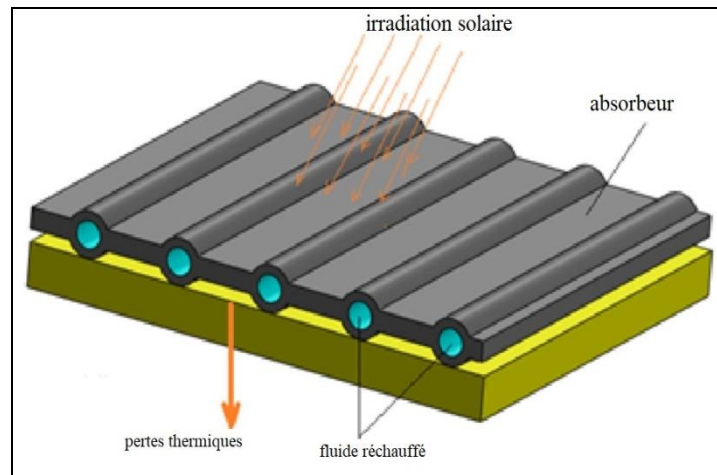


Fig. I.15. Description d'un capteur solaire non vitré [26].

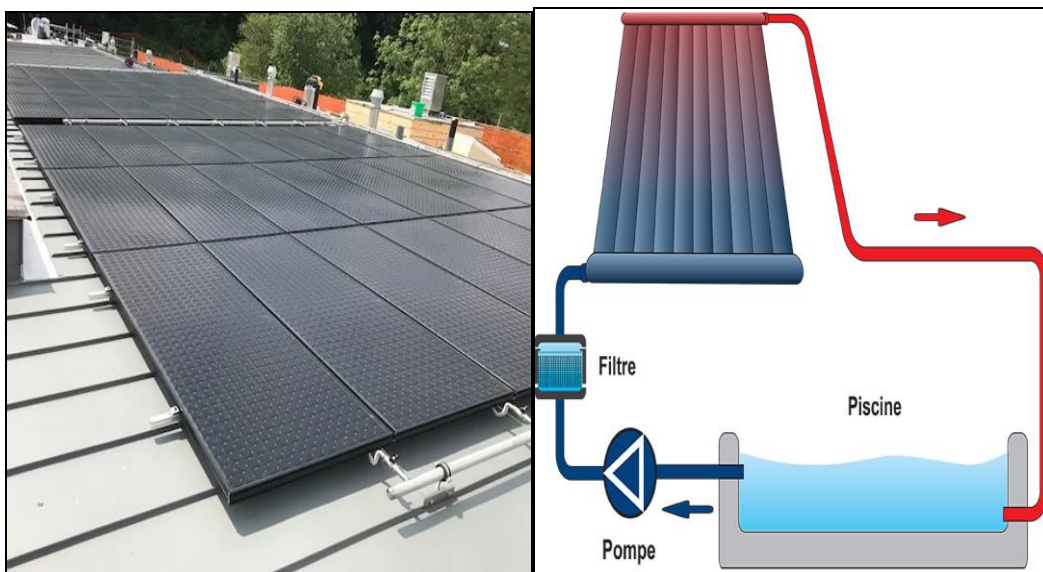


Fig. I.16. Capteur solaire non vitré [28].

Fig. I.17. Chauffage de l'eau de la piscine [29].

#### 4.3.1.1. Avantages et inconvénients des capteurs plans non vitrés

Les avantages et inconvénients des capteurs plans non-vitrés sont [30]

##### Avantages

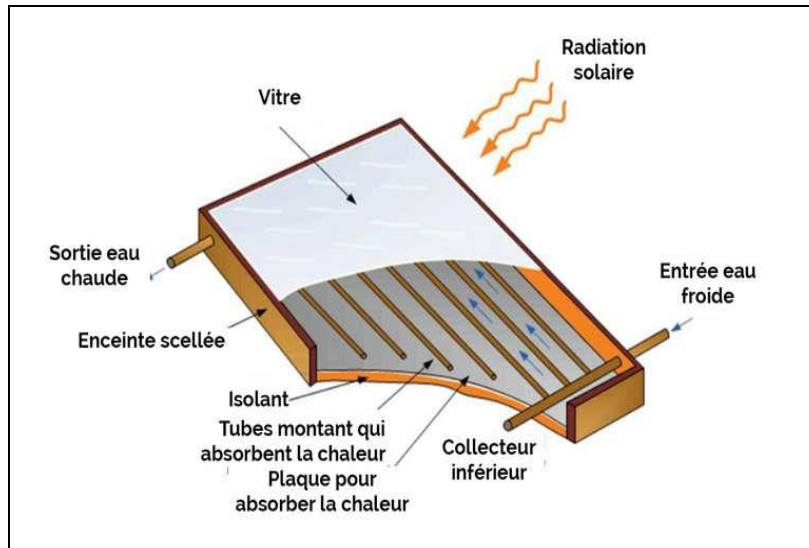
- Coût moindre.
- Rendement élevé pour des températures  $<40^{\circ}\text{C}$ .
- L'absorbeur peut constituer lui-même le toit des bâtiments [30].

##### Inconvénient

- Fonctionne uniquement pour des faibles températures

### 4.3.2. Capteurs plans vitrés à eau

Le capteur plan en verre est le capteur le plus utilisé et le plus adapté aux besoins d'eau chaude sanitaire et de chauffage dans les bâtiments. Sa température de fonctionnement correspond aux températures de production d'eau chaude sanitaire (ECS) et de chauffage (max 80°C) [11].



**Fig. I.18 : Coupe schématique d'un capteur plan vitré à eau [31].**



**Figure I.19. Capteurs solaires plan vitré à eau [32]**

### 4.3.3. Capteurs solaires plan vitré à air

Contrairement au capteur à eau où le fluide passe dans les tuyaux, le conduit d'air est en générale formé par l'espace situé entre la couverture et l'absorbeur

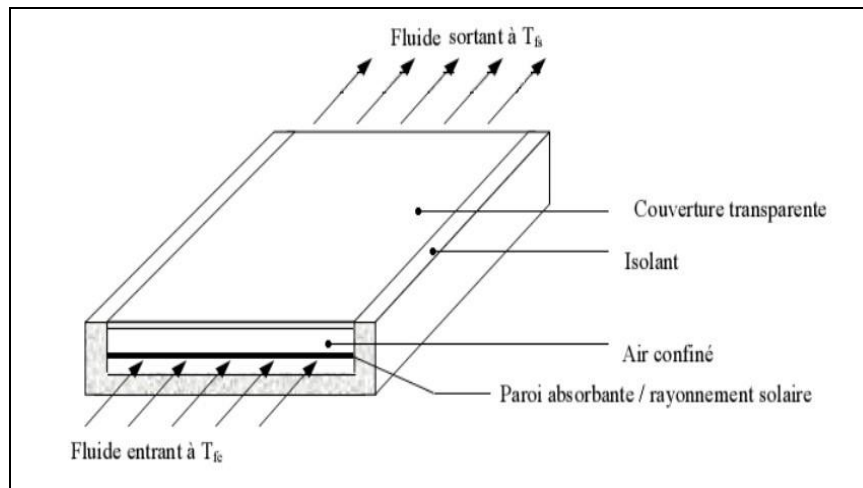


Fig. I.1 : Schéma d'un capteur plan vitré à air [33].

### ➤ Principaux éléments constituant un capteur plan vitré à air

#### • Couverture transparente

Le verre est notamment utilisé comme couvercle transparent. En effet, il est aussi transparent que possible et transmet facilement le rayonnement solaire. Le verre laisse passer environ 92% du rayonnement solaire selon le degré de pureté. Il existe deux types de vitrage : le simple vitrage et le double vitrage [18].

#### • Fluide caloporteur

Les fluides caloporteurs les plus couramment utilisés sont :

**L'air** est un grand avantage en tant qu'agent de transfert de chaleur, car il est abondant et libre, et exempt de problèmes de givrage et de corrosion, ce qui se traduit par une longue durée de vie du capteur et une faible maintenance. Mais pour transférer une quantité raisonnable d'énergie, il faut utiliser une très grande quantité d'air.

Eau est un excellent fluide caloporteur en raison de sa chaleur spécifique, mais le risque de gel les nuits d'hiver et le risque d'ébullition à haute température peuvent être problématiques. De plus, au fil du temps, l'accumulation de couches de tartre dans les tuyaux réduit la quantité d'échange de chaleur [34].

#### • Absorbeur

L'absorbeur est l'élément central du collecteur planaire. Il possède des propriétés absorbantes, émettrices et conductrices [11].

Ils sont généralement constitués de plaques de métaux ferreux (cuivre, aluminium ou acier) et leur fonction principale est d'accumuler le plus de chaleur possible afin qu'elle puisse être transférée à d'autres composants de l'environnement par convection (fluide caloporteur) ou rayonnement (verre) ou diffusion (tube). L'absorbeur doit maximiser l'échange avec le fluide

caloporteur pour améliorer l'échange avec le fluide caloporteur et minimiser sa perte vers l'extérieur pour atteindre un bon rendement du collecteur.

- **Isolant**

Afin de réduire la perte de chaleur de l'absorbeur vers l'extérieur, la surface inférieure et les quatre côtés du capteur solaire sont isolés [11].

Le matériau isolant doit avoir une faible conductivité thermique pour réduire la perte de chaleur par conduction à travers la surface du capteur. La laine minérale, les matériaux synthétiques (laine de verre, polyuréthane expansé ou mousse de polystyrène) sont des matériaux isolants couramment utilisés. Ils doivent pouvoir résister à la température élevée à l'intérieur du capteur.

### 5. Fonctionnement d'un capteur solaire à air

Les capteurs solaires thermiques convertissent le rayonnement solaire reçu en énergie thermique utilisable, généralement par l'intermédiaire d'un fluide caloporteur. Un diagramme schématique de base d'un capteur solaire planaire avec des parois absorbantes se réchauffant à la suite de l'absorption du rayonnement solaire entrant. Le fluide circulant sous cette paroi récupère une partie de l'énergie absorbée par convection et monte en température au passage du capteur  $T_{fs} - T_{fe}$

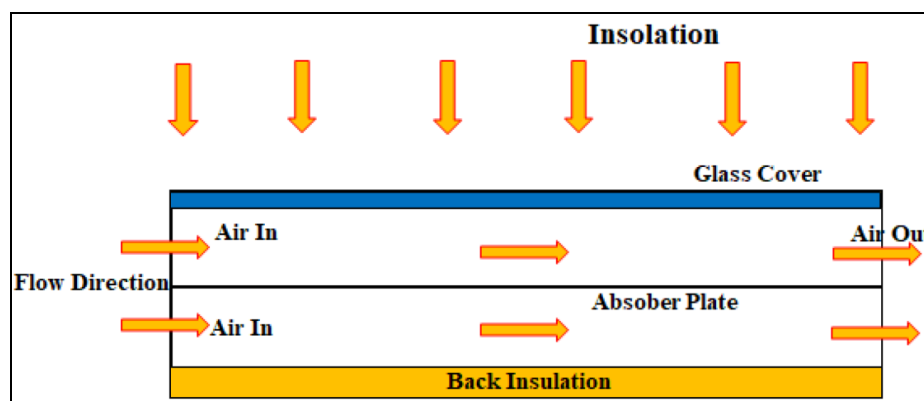


Fig. I.1 : Schéma de fonctionnement d'un capteur solaire à air [35].

#### 5.1. Avantages et inconvénients des capteurs plans vitrés

##### Avantages

- Longue durée de vie.
- Efficacité énergétique.

##### Inconvénients

- Ne convient qu'à hautes températures.
- La température interne peut monter très rapidement dans l'absence de circulation de fluide caloporteur.

## 6. Applications des capteurs solaires plans à air

### 6.1. Chauffages et climatisation des habitations

Le principe de capteur solaire à air est d'chauffer le fluide dans le capteur solaire, l'air est véhiculé par ventilateur vers des points d'utilisations. Il permet de réaliser des économies d'énergie et d'améliorer le bilan thermique des bâtiments sur la période hivernale et en mi-saison.

Une régulation fait circuler l'air des locaux à travers le panneau dès que la température interne du panneau permet d'obtenir un gain significatif.

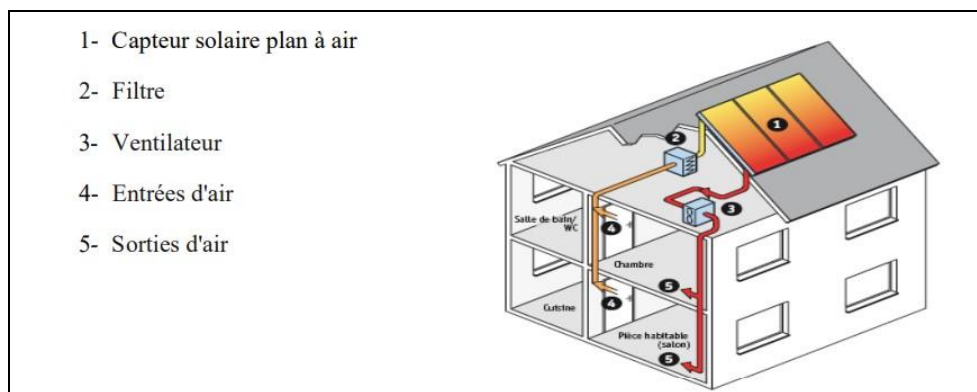


Fig. I.1 : Chauffages et climatisation des habitations [36].

### 6.2. Séchage

Les capteurs solaires plans à air peuvent être utilisés pour sécher les cultures, les fruits, les haricots, le riz, les épices, le caoutchouc, le cacao et le bois.

Le séchage est le processus d'extraction de l'eau à partir de solides, de semi-solides ou de liquides par évaporation.

C'est l'une des principales méthodes de conservation des aliments périssables. En effet, en éliminant l'humidité, l'action des micro-organismes (levures, moisissures, bactéries) responsables de la pourriture est inhibée. C'est aussi une étape nécessaire à la surgélation de certains produits, car l'élimination de l'humidité réduit leur poids et leur volume. En conclusion, le séchage améliore la conservation des produits, facilite le transport, réduit le risque de perte de produit après récolte et surtout élargit la commercialisation de ces produits en les rendant disponibles toute l'année.

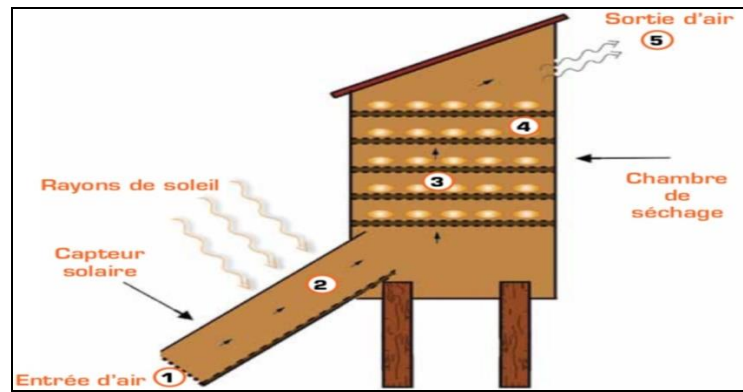


Fig. I.1 : Séchage solaire [37].

### Conclusion

La technologie solaire offre un énorme potentiel pour répondre aux besoins énergétiques de la planète. Cependant, l'utilisation de cette source d'énergie est encore limitée. Le principal facteur est lié au coût initial élevé de construction du système. La performance d'un capteur solaire thermique dépend essentiellement de la capacité du capteur à capter l'énergie solaire et à la transférer vers un fluide caloporteur. A cet effet, les performances des capteurs solaires thermiques et les paramètres affectant leur rendement sont étudiés pour une meilleure conception et une meilleure utilisation.

# **Étude théorique du capteur solaire double vitrage à air**

## Introduction

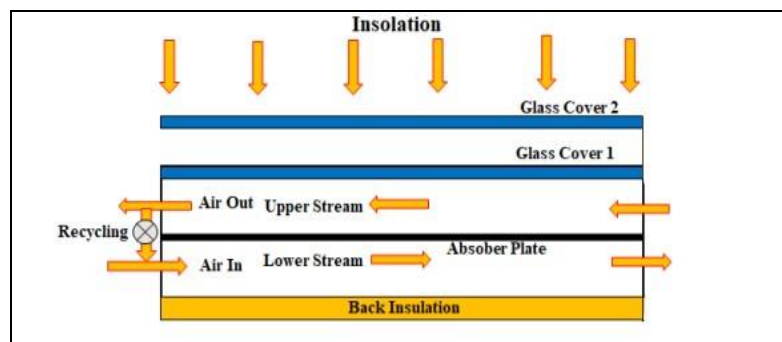
Le capteur plan vitré le plus simple et le plus répandu pour convertir l'énergie solaire en énergie thermique utile est un équipement utilisé pour absorber l'énergie contenue dans le rayonnement solaire, qui convertit ensuite cette énergie en énergie thermique. L'énergie sera directement transférée au liquide chauffé et aux autres liquides utilisés pour le chauffage. L'un des types de capteurs les plus courants est le capteur solaire plan à double vitrage à air.

## 2. Capteur à double vitrage à air

Un capteur à double vitrage à air est un type de fenêtre qui utilise deux panneaux de verre séparés par une fine couche d'air ou de gaz inerte, telle que l'argon ou le krypton. Cette configuration crée une barrière thermique qui réduit la perte de chaleur et l'entrée d'air froid, améliorant ainsi l'efficacité énergétique d'un bâtiment.

## 3. Description générale d'un capteur à double vitrage

Le capteur à double vitrage illustré dans la **Figure II.1** doit être constitué des éléments suivant



**Fig.II.1. Capteur à double vitrage à air [1]**

### 3.1. Vitrages

Pour optimiser encore l'efficacité des capteurs, les fabricants utilisent parfois deux vitres [2, 3]

- **Vitre intermédiaire**

Elle utilise le rayonnement thermique comme piège pour vérifier le phénomène de l'effet de serre.

- **Vitre de protection (verre extérieur)**

Cette deuxième vitre a peu d'effet sur l'effet de serre, et son avantage réside surtout dans une meilleure isolation de la face avant du capteur, dont la qualité est tout aussi importante que la qualité de l'isolation à l'arrière.

L'une des propriétés physiques les plus importantes du verre est qu'il laisse passer le rayonnement solaire et bloque le rayonnement infrarouge des émetteurs tels que les absorbeurs. Ainsi, la chaleur est bloquée entre l'absorbeur et le capot : c'est l'effet de serre.

La couverture doit avoir une bonne résistance aux chocs, aux changements brusques de température et aux températures élevées. Il répond à des exigences très précises :

Le verre doit être trempé pour pouvoir supporter sans risque les charges thermiques et mécaniques.

Il doit avoir un haut degré de transmission solaire et être caractérisé par ce qu'il Faible teneur en fer.

Il doit avoir une surface structurée pour minimiser les réflexions directes [4].

**Tableau II.1. Caractéristiques thermo-physiques de quelques matériaux transparentes**

Matériau	Facteur de transmission solaire (%)	Conductivité thermique (w/m.k)	Masse volumique (kg/m <sup>3</sup> )
Verre	85-92	2700	0.93
Polycarbonate	82-89	1200	0.2
Polyester armé	77-90	1400	0.21
Polyfluoroéthylène Opoyléne	97	2.15	0.25
Polyflurure Vinyle	93	1.50	0.12

### 3.2. Absorbeur

C'est le convertisseur qui convertit le rayonnement solaire en chaleur, qu'il transfère au fluide caloporteur, et il est constitué de plaques métalliques (acier, cuivre, aluminium...) peintes en noir mat. Ses principales caractéristiques sont [3]

- Un facteur d'absorption plus proche que possible de l'unité.
- La puissance d'émission de la lumière infrarouge doit être aussi faible que possible.
- Bonne conductivité thermique.
- faible inertie thermique [5].

Il importe que la plaque soit métallique car seuls les métaux ont de bons coefficients de conduction de la chaleur

Tableau II.2. Caractéristiques thermo-physiques de quelques matériaux métalliques [6]

Métal	Conductivité Thermique (W/m.k)	Chaleur massique (J/kg.k)	Masse volumique (kg/m <sup>3</sup> )	Diffusivité (10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup> /s)
Cuivre	384	398	8900	108
Acier inoxydable	14	460	7800	4
Aluminium	204	460	2700	86

### 3.3. L'air, fluide caloporteur

Le fluide caloporteur utilisé dans le circuit primaire du capteur solaire a pour fonction de transporter la chaleur cédée par l'absorbeur.

Différents fluides (eau, air) peuvent être utilisés mais certaines conditions doivent être respectées

- Capacité calorifique élevée.
- Faible viscosité.
- Coefficient de transfert de chaleur élevé.
- Faible agressivité vis-à-vis des matériaux constituant le capteur.

Pour améliorer les performances d'isolation, nous considérons les propriétés thermo physiques inférieures de l'air du fluide caloporteur (il a en effet une capacité calorifique quatre fois moindre que celle de l'eau) [7].

L'air à l'intérieur du capteur est situé entre les deux vitres et entre la deuxième vitre et l'absorbeur.

- **Propriétés thermo-physiques de l'air** [8]

Les propriétés thermo-physiques de l'air sont présentées dans le tableau suivant

Tableau II.3. Propriétés thermo-physiques de l'air

Propriétés physiques	Symboles	Valeurs
Masse volumique (kg/m <sup>3</sup> )	$\rho$	1.22
Chaleur spécifique (J.Kg <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> )	Cp	1005
Conductivité thermique (W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> )	$\lambda$	0.0242
Viscosité (Kg.m <sup>-1</sup> .s <sup>-1</sup> )	$\mu$	1.789.10 <sup>-5</sup>

### 3.4. Isolant

Afin de minimiser les pertes de chaleur du système, il est nécessaire d'isoler ses parois. Vers l'avant est généralement un espace d'air pour l'isolation. son épaisseur Ne doit pas être trop grande pour limiter le transfert convectif. Il existe de nombreux types de matériaux isolants, qui sont principalement divisés en trois séries [9]

#### ➤ Isolants minéraux

- La laine de verre.
- la vermiculite.

Ces isolants ont l'avantage de supporter la chaleur sans se dégrader à des Températures supérieures à 250°C

#### ➤ Isolants d'origine végétale

- Le bois [ $k=0.13-0.40(W/(m.K)$  entre 0 – 200°C)]
- Le bois aggloméré [ $k=0.05-0.10(W/m.K)$ ]
- La sciure de bois [ $k=0.1(W/m.K)$ ]
- les cendres de végétaux

#### ➤ Isolants organiques de synthèse

Le tableau ci-dessous permet d'avoir une idée sur les propriétés thermique de quelque matériau isolant.

**Tableau II.4. Propriétés thermiques de quelque matériau isolant [9].**

Matériaux	Conductivité Thermique à 25°C (W/m.k)	Température Maximale (°C)
Fibre de verre Mousse de	0.032	343
polystyrène	0.029-0.040	74
Mousse de polyuréthane	0.023	104
Moussue de phénol	0.033	135
Mousse d'iso-cyanure	0.025	121

### 3.5. Le boîtier

Le boîtier Il contient les trois éléments (l'isolant, l'absorbeur, les vitrages) et dont les parois sont tapissées d'une couche isolante destinée à réduire les pertes vers l'arrière et les côtés du capteur. Il doit être solide et résistant à la corrosion.

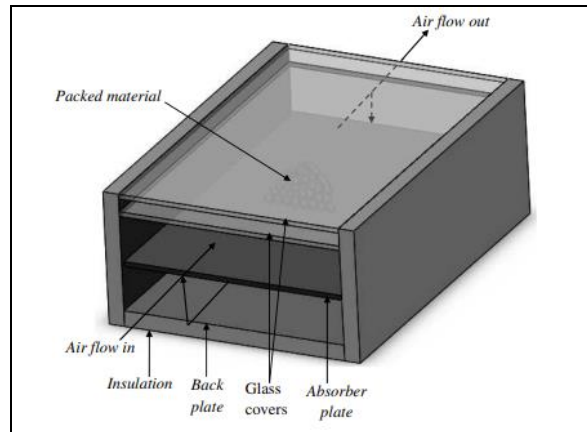


Fig.II.2. Vue du capteur à air à double vitrage [10]

#### 4. L'effet de serre

Il s'agit d'un phénomène dans lequel la température de l'environnement augmente en raison d'un changement dans le flux d'énergie thermique entrant et sortant de l'environnement. Le nom est souvent utilisé pour le phénomène de températures mondiales plus chaudes que la normale

La prise en compte de ce mécanisme est cruciale pour expliquer les températures de surface observées sur Terre et Vénus. Dans le système solaire, l'essentiel de l'énergie thermique reçue par les planètes provient du rayonnement solaire. En l'absence d'atmosphère, les planètes rayonnent comme des corps noirs, absorbant et réfléchissant une partie du rayonnement solaire. La planète régule ainsi la température d'équilibre. L'atmosphère isole ainsi la Terre du vide spatial, tout comme une serre isole les plantes de l'air extérieur.

Le bilan thermique d'une serre s'explique par l'analyse de la convection et non du rayonnement, car la chaleur s'accumule à l'intérieur de la serre car elle est isolée par des parois qui empêchent les échanges de chaleur entre l'intérieur et l'extérieur. Ce phénomène est également connu par les scientifiques sous le nom d'effet radiatif [11].

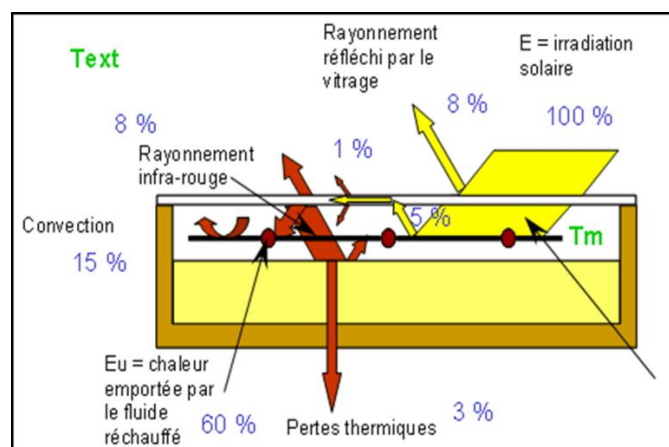


Fig.II.3. Principe de l'effet de serre

## 5. Corps noir

Un corps noir est un objet idéal qui absorbe la lumière et émet le rayonnement thermique. Le rayonnement électromagnétique absorbé par les parois de l'enceinte est dit en équilibre thermique. Tous les photons sont absorbés en permanence et la distribution spectrale des photons réémis dépend de la température de la paroi du corps noir. Obéit simultanément à la loi de Lambert, à la loi de Stefan et à la loi de Wien [12].

## 6. Principe de fonctionnement d'un capteur solaire à air à double vitrage

L'énergie solaire utilise l'effet de serre car le rayonnement est capté dans le visible (longueurs d'onde comprises entre 0,3 et 3  $\mu\text{m}$ ), traverse le premier verre et reste piégé à l'intérieur et atteint le second verre qui à son tour en réfléchit une partie vers la surface tandis que l'autre partie passe à la surface absorbante qui s'échauffe, qui à son tour transfère de l'énergie au fluide caloporteur [1].

Le domaine infrarouge est loin d'être visible (entre 4 et 30 micromètres). Ce rayonnement est partiellement stoppé par chauffage de la paroi vitrifiée et rayonne vers la surface absorbante. Ce cycle réactif augmente la température du capuchon transparent et absorbant. L'échange par convection permet au fluide caloporteur d'en capter une partie. L'énergie absorbée qui contribue à l'augmentation de la température le long de son trajet à travers le capteur. Cette énergie sera ensuite transférée aux services publics pour être utilisée de l'extérieur [13].

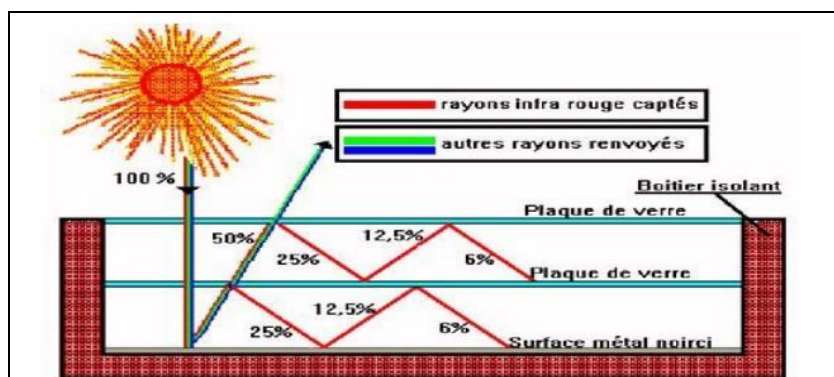


Fig.II.4. Principe de fonctionnement

## 6.1. Paramètres caractérisant le fonctionnement d'un capteur plan

### 6.1.1. Paramètres externes

- Paramètre d'ensoleillement éclairément énergétique du au rayonnement global a la position du soleil et a La durée d'insolation, L'efficacité des capteurs solaires est fortement affectée par le rayonnement solaire.
- l'élévation de température varie presque linéairement avec le rayonnement solaire incident [14].

- Vitesse du vent apparaît dans le coefficient de convection entre le verre et l'extérieur, qui agit sur la valeur de perte, c'est pourquoi il est important de connaître les données météorologiques. Lorsque le coefficient de transfert de chaleur du vent atteint sa valeur maximale [15].

### 6.1.2. Paramètres internes

- paramètre de position, l'inclinaison et l'orientation, L'effet de l'orientation du capteur et de son inclinaison par rapport à l'horizontale est dû au fait que les deux derniers changent, à savoir le fait que le rayonnement solaire atteint la surface du capteur. La meilleure orientation pour les capteurs solaires est plein sud. L'angle d'inclinaison optimal convient à divers systèmes tels que les capteurs plats ou paraboliques installés dans des positions fixes, les panneaux photovoltaïques, les maisons solaires et les serres. Cet angle joue un rôle important dans l'augmentation de l'énergie collectée par le capteur solaire [16].
- **dimensions de capteur**, épaisseur, longueur, le vitrage, La plupart des capteurs solaires couverts utilisés sont à couverture simple, double ou triple, car plus il y a de couvertures de verre, plus l'efficacité du capteur est grande [17].
- **la section de passage du fluide.**

### 6.1.3. Paramètres de fonctionnements

- la température d'entrée du fluide dans le capteur
- Les températures des différentes parties du capteur
- le débit du fluide caloporteur

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

## 7. Différents modes de transferts thermiques dans un capteur solaire à air à double vitrage

Le transfert de chaleur est un moyen d'échange d'énergie interne entre deux systèmes. Il existe trois types de transfert de chaleur (conduction, convection et rayonnement). Ces trois modes existent dans tous les types de capteurs solaires plans et autres qui utilisent des fluides caloporteurs l'air ou bien l'eau.

### 7.1. Conduction

La conduction représente le processus de propagation de la chaleur par le contact direct entre les particules du corps dont les différentes parties ne sont pas isothermes sans déplacement de la matière La loi correspondant à ce processus de diffusion thermique est la loi de Fourier donnée par la relation [18]

$$q = -\lambda \times S \times \text{grad } T$$

$q$  : Le flux de chaleur par conduction

$\lambda$  : La conductivité thermique

$S$  : surface d'échange

## 7.2. Convection

C'est le transfert de chaleur entre un solide et un fluide, l'énergie étant Les particules se trouve en mouvement entre elles. On distingue deux types de convection [19]

### 7.2.1 Convection forcée

Le mouvement du fluide est induit par une cause indépendante des différences de température (pompe, ventilation ...).

### 7.2.2. Convection libre ou naturelle

Ce type d'échange thermique a comme origine le mouvement produit par les différences de densité entre les particules chaudes et celles qui sont froides dans un fluide situé dans un champ de pesanteur. En général le fluide chaud est moins dense et a tendance à s'élever dans le champ de pesanteur.

Ce mécanisme de transfert est régi par la loi de Newton

$$\varphi = h \times S \times (T_p - T_f)$$

$\varphi$ : Le flux de chaleur par convection

$h$ : Le coefficient de transmission thermique par convection

$S$ : La surface de transmission de chaleur

$T_p$ : Température de la paroi solide

$T_f$ : Température du fluide

## 7.3. Le rayonnement

Par définition, un corps noir est un objet idéal qui absorbe parfaitement la lumière et émet parfaitement le rayonnement thermique. Le rayonnement électromagnétique absorbé par les parois de l'enceinte est dit en équilibre thermique. Quelle que soit la longueur d'onde, tous les photons sont absorbés en permanence et la distribution spectrale des photons réémis ne dépend que de la température de la paroi du corps noir. Obéit simultanément à la loi de Lambert, à la loi de Stefan et à la loi de Wien [19].

$$q = \varepsilon \times \sigma \times T^4$$

$q$  : densité de flux de chaleur émis par le corps.

$\varepsilon$ : émissivité thermique du matériau.

$\sigma$ : constante de Stefan-Boltzmann évaluée à  $5,6.10^{-8} \text{ W/m}^2.\text{K}^4$ .

$T$  : température absolue du corps.



**9. Bilan énergétique d'un capteur solaire plan**

Au début, vous devez avoir une connaissance du rayonnement solaire ( $G^*$ ) et de ses types.

C'est la somme des rayonnements diffus ( $G_{dif}$ ) et direct ( $G_{dir}$ ).

$$G^* = G_{dir} + G_{dif}$$

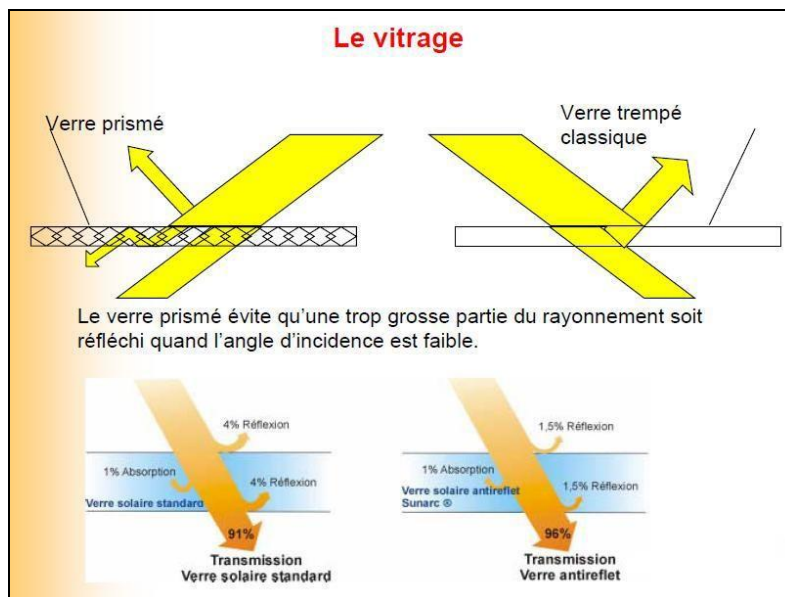
Lorsque l'énergie rayonnante frappe un objet, elle sera partiellement réfléchi, partiellement absorbée et, pour les objets transparents, l'énergie sera partiellement transmise.

On peut écrire:

$$I = R + A + E_t$$

I est l'énergie incidente, R l'énergie réfléchi, A l'énergie absorbée et  $E_t$  l'énergie transmise

$$\tau_c^* + \alpha_p^* + r_c^* = 1$$



**Fig.II.6.Schéma représentant Le mécanisme de transmission-absorption-réflexion du rayonnement solaire**

$\tau_c^*$  Coefficient de transmission

$\alpha_p^*$  Coefficient d'absorption solaire

$r_c^*$  Coefficient de réflexion

**9.1. L'énergie solaire absorbée par le capteur**

Le bilan énergétique d'un capteur plan est défini par l'énergie solaire absorbée par le capteur ( $\varphi^*$ ), l'énergie utile emmagasinée dans le fluide caloporteur ( $\varphi_u$ ), les pertes thermiques ( $\varphi_a$ ) et l'énergie d'inertie thermique de l'installation ( $\varphi_t$ )

$$\varphi^* = \varphi_u + \varphi_a + \varphi_t$$

Le flux stocké dans le capteur est négligeable

$$\varphi_t = 0$$

### 9.2. L'énergie utile emmagasinée dans le fluide caloporteur

La quantité d'énergie utile à l'échauffement du fluide caloporteur extraite de la chaleur récupérée par un capteur solaire peut être exprimée par

$$\varphi_u = m C_p (T_{fs} - T_{fe})$$

$$\varphi_a = \lambda (T_{fs} - T_{fe})$$

$$\dot{\varphi}_u = \dot{m} C_p (T_{fs} - T_{fe})$$

$$\dot{m} = \rho V_s S_e$$

$V_s$  : Vitesse de l'air à la sortie du capteur (m/s)

$S_e$  : Section d'entrée du fluide (m<sup>2</sup>)

$\rho$  : Masse volumique de l'air (kg/m<sup>3</sup>)

### 9.3. Rendement du capteur

Le rendement du capteur thermique est défini comme le rapport entre la puissance utile récupérée par le fluide caloporteur et la puissance du rayonnement solaire incident

$$\eta = \frac{\int_0^{\Delta t} \varphi_u dt}{\int_0^{\Delta t} G^* dt}$$

Avec :  $\varphi^* = G^* \cdot \tau_c^* \cdot \alpha_p^*$

$$\eta = \frac{\dot{\varphi}_u}{S_e G^*}$$

Le rendement d'un capteur solaire vitré est souvent mesuré par son efficacité thermique, qui est le rapport entre la quantité d'énergie thermique récupérée et la quantité d'énergie solaire incidente.

Cependant, il est important de noter que le rendement réel d'un capteur solaire vitré peut varier en fonction de plusieurs facteurs, tels que l'ensoleillement local, la température ambiante, l'orientation et l'inclinaison du capteur, ainsi que la présence d'ombrages ou d'obstructions. Une bonne conception et une installation adéquate du système sont essentielles pour maximiser le rendement d'un capteur solaire vitré.

**Conclusion**

En conclusion, un capteur solaire à air à double vitrage est un dispositif utilisé pour collecter l'énergie solaire et la convertir en chaleur

Les capteurs solaires vitrés sont largement utilisés pour le chauffage de l'eau dans les systèmes de chauffage solaire domestique, commercial et industriel. Ils offrent une source d'énergie renouvelable et durable, réduisant la dépendance aux combustibles fossiles et contribuant à la réduction des émissions de gaz à effet de serre.

En choisissant des capteurs solaires vitrés de haute qualité, en les installant correctement et en les entretenant régulièrement, il est possible de maximiser leur rendement et d'optimiser l'utilisation de l'énergie solaire pour le chauffage de l'eau. Les capteurs solaires vitrés constituent ainsi une solution efficace et respectueuse de l'environnement pour répondre aux besoins de chauffage.

# **Réalisation et étude expérimentale**

## Réalisation et étude expérimentale

### Introduction

A partir des chapitres précédents et de nos connaissances sur les capteurs solaires plans à air à double vitrage, et puisqu'il n'y a pas de règle générale pour la conception de ce dernier, nous allons suivre dans ce chapitre les grandes étapes de sa conception et nos connaissances des matériaux et méthodes dans un essai de l'améliorer au maximum.

Le déroulement des expériences a eu lieu au niveau de laboratoire des énergies renouvelables, faculté des sciences de la matière, université Mohamed BOUDIAF de M'sila en moins mai et juin 2023

### 2. Montage du capteur à air à double vitrage

Dans cette partie d'étude on a le prototype étudié est conçu et réalisé au laboratoire physique. Il s'agit d'un capteur solaire plan à air à double vitrage d'une surface de captation  $S= 0,5 \text{ m}^2$ , d'une longueur  $L= 1 \text{ m}$ , d'une largeur  $l = 0.5 \text{ m}$ . et épaisseur  $e=0.16\text{m}$ .



**Fig.III.1. Vue générale sur le capteur solaire à air à double vitrage**

#### 2.1. Le cadre du capteur

Le cadre du capteur placé à l'extérieur, il a pour fonction de recevoir tous les éléments (absorbeur, vitrage, isolation, chicanes) tout en assurant sa fixation au mur et le raccordement aux conduits intérieurs, pour une très longue durée de vie, étant soumis aux aléas climatiques agressifs (soleil évidemment, pluie, froid, neige, grêle, vent). Bien conçu, ce capteur de type

passif n'exige quasiment aucune maintenance, si ce n'est le nettoyage périodique du vitrage à l'extérieur.

Des tronçons de bois de charpente, brut de sciage, seront utilisés pour confectionner les côtés du cadre massif, alliant solidité et facilité d'usinage, avec une durée de vie exceptionnelle, même sans aucun traitement.

Pour la réalisation du cadre d'un capteur, il vous faudra disposer deux plaques de 1 m sur 0.16 m brut de sciage, d'une section de 3 cm, ensuite on a réalisés également des encadrements des portes sous forme des étagères d'une épaisseur de 4 mm pour les côtés intérieurs du capteur, en plus une plaque de base de 1m sur 44 cm.

Au final, nous avons peint les cadres avec de la peinture blanche afin de refléter les rayons et réduire les déperditions de chaleur.



**Fig.III.2. Assemblage et équipement du cadre**

### **2.2. vitrage et absorbant du capteur**

Après avoir terminé les travaux précédents, nous avons besoin de plaque absorbant, deux plaques de verre trempé d'une épaisseur de 4 mm la première est fixée à la surface du capteur par la colle silicone, la deuxième vitre et la plaque absorbant noire d'une épaisseur de 4 mm que l'on peut insérer dans les étagères et changer de place à chaque fois pour que le fluide caloporteur (air) passe entre le deuxième verre et la plaque absorbante.



**Fig.III.3. Vue générale sur les composants du capteur**

### **3. Caractéristiques Techniques des éléments constituant du capteur solaire plan à air à double vitrage**





Nous résumons les principaux composants du capteur comme suit:

Deux couvercles en verre transparent assurent l'effet de serre.

Une plaque absorbante mince (en fer galvanisé peinte en noir mat) qui transmet la chaleur au fluide caloporteur (air).

Les isolations arrière et latérale sont assurées grâce à un polystyrène et également par le boîtier, afin de limiter les pertes thermiques vers l'extérieur.

Tableau III.1. Les caractéristiques techniques du capteur

Désignation	Nature et dimensions	Figure
Nature Epaisseur Dimensions	Bois 16 m 1×05 m <sup>2</sup>	<b>Boitier</b> 
Nature Epaisseur Conductivité	Polystyrène 0.15 m 0,033 W/mk	<b>Isolant</b> 
Nature Epaisseur Dimension Absorptivité Emissivité	Plaque galvanisée 0,004 m 1×0,438 m <sup>2</sup> 0,94 0.88	<b>Absorbeur</b> 
Nature Epaisseur Dimension Transmissive	Verre ordinaire 0,004 1×0,438 m <sup>2</sup> 0,9	<b>Couver</b> 

#### 4. Principe de fonctionnement

Le capteur solaire plan à air à double vitrage capte l'énergie solaire à travers une surface transparente, convertit cette énergie en chaleur grâce à une plaque absorbante et transfère la chaleur à l'air circulant à l'intérieur du capteur. Le double vitrage assure une isolation thermique efficace, permettant de maximiser l'efficacité du captage solaire et de récupérer la chaleur pour diverses applications de chauffage.

#### 4. Réalisation du capteur solaire

Après avoir terminé la construction du capteur solaire thermique à air. Il ne reste plus qu'à le doter de quelques optimisations électroniques optionnelles pour un fonctionnement automatique.

Pour la bonne mise en œuvre d'un projet d'énergie solaire doit

- Vérifier les différents aspects de l'isolation (dos et côtés).
- Étalonnage des thermomètres pour différentes parties du capteur.
- Pour permettre au capteur de capter le maximum de rayonnement solaire, il doit Trouvez l'inclinaison optimale.



**Fig.III.4. Support incliné 36°**

## 5. Les instruments de mesures utilisés

### 5.1. Mesure des rayonnements

#### Station météo complète pyranomètre

C'est un capteur de flux thermique, type Station météo complète, utilisé pour la mesure de la puissance du Rayonnement solaire global reçue par unité de surface et exprimé en watts par mètre carré.

Station météo complète **Davis Instruments Vantage Pro 2 filaire**, référence 6152CEU. La liaison entre les capteurs extérieurs (ISS) et la console se fait avec un câble d'une longueur de 30 mètres. La console est équipée d'un large écran LCD rétro-éclairé, elle peut être fixée contre un mur ou posée sur une table ou une étagère. La console permet de visualiser les conditions météo en temps réel, les extrêmes (maxi et mini), les graphiques correspondant aux différentes variables. Il est également possible de régler des alarmes et de connecter la console sur un ordinateur (avec le datalogger WeatherLink non fourni), il permet de mesurer

La température intérieure et extérieure

L'humidité intérieure et extérieure

La pression atmosphérique

L'indice de chaleur

Le point de rosée

Les précipitations La vitesse et direction du vent

On cite entre autres La mesure vitesse de vent est assurée par une L'équipe de gisement solaire au niveau de la Station métrologique de M'sila.



**Fig.III.5. Davis Instruments Vantage Pro 2**

5.2. Mesure des différentes températures

La mesure des différentes températures du capteur (entrée et sortie du fluide, la plaque absorbante, la vitre intérieure et vitre extérieure) est assurée par un thermomètre digital avec sonde.



Fig.III.6. Thermomètre digitale

6. Description de la procédure expérimentale

6.1. Présentation de la région d’expérimentation

Tableau III.2. Les paramètres caractérisant le site

Coordonnées géographiques				
Les paramètres caractérisant le site	Altitude	Longitude	Latitude	Albédo
M'sila	477	4°54 '19 "4 EST	35° 70 '58 " NORD	0.2



**Fig.III.7. Situation de la ville de Msila**

Les essais que nous avons faits sur le capteur solaire en plusieurs étapes

- Premièrement on va orienter le capteur suivant le sud et incline avec angle égale  $36^\circ$ .
- Emplacement des thermomètres dans le capteur plan à air.
- Mesure la température de chaque élément du capteur solaire plan à air et la température de fluide caloporteur entrée et sortie à chaque demi-heure.

# **Résultats et discussions**

## Résultats et discussion

Dans cette partie d'étude, on présente les mesures des températures d'entrée, de sortie du fluide caloporteur, et celle de l'absorbeur des capteurs solaires plans à air, qu'ils soient à simple ou à double vitrage, la vitesse du vent, la température de l'air ambiant et son humidité.

### 1. Capteur à simple vitrage

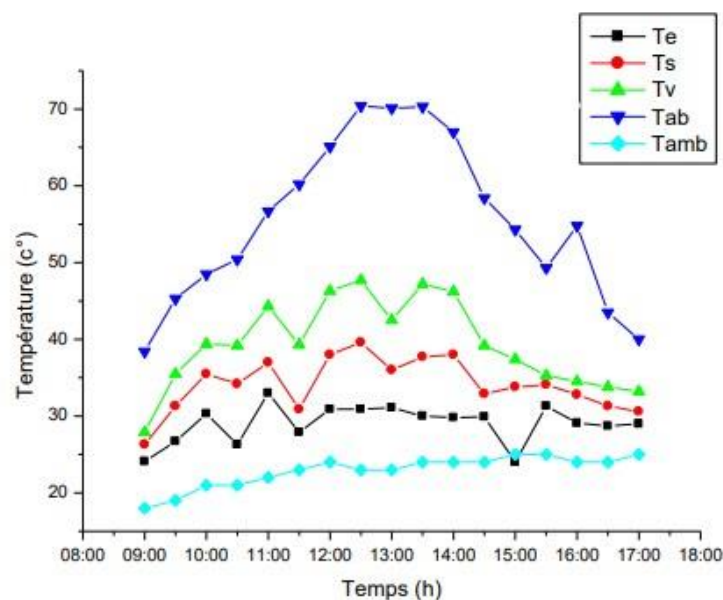
#### 1.1. Températures de l'air ambiant, de la vitre, d'entrée et de sortie du fluide caloporteur et celle de l'absorbeur pour un capteur à simple vitrage

Pour un capteur solaire à simple vitrage, les distributions des températures de l'air ambiant, de la vitre, de l'absorbeur, de l'entrée et de sortie du fluide caloporteur et de l'absorbeur sont représentées pour la journée de 30/05/2023.

Il est clair que la température de l'absorbeur est plus élevée et celle de l'air ambiant est la plus basse, donc un transfert thermique de l'absorbeur vers l'air ambiant peut avoir lieu.

En effet, la température de la vitre est comprise entre ces températures.

Pour le fluide caloporteur, la température à la sortie du capteur est plus élevée que celle de l'entrée et ceci grâce à l'énergie reçue par le fluide de la part de l'absorbeur.



**Fig. IV.1. Températures de l'air ambiante, de la vitre, d'entrée et de sortie du fluide caloporteur et Celle de l'absorbeur pour un capteur à simple vitrage.**

## 2. Capteur à double vitrage

### 2.1. Rayonnement solaire global

Le rayonnement solaire global pendant la journée de mesure est représenté en fonction du temps. L'allure du rayonnement solaire reçu par l'absorbeur varie comme une parabole, il est faible au matin et au soir et max vers midi et juste l'après-midi. Donc le transfert de chaleur est max vers le midi.

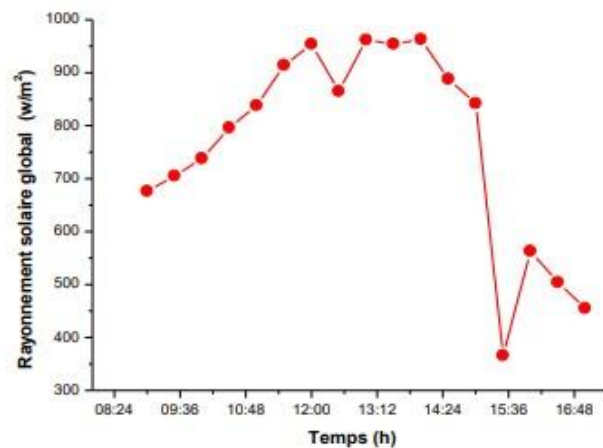


Fig.IV.2.Rayonnements solaire global.

### 2.2. Humidité du fluide caloporteur

Humidité du fluide caloporteur traversant le capteur solaire à double vitrage est représentée.

Humidité relative est max pendant la matinée puis elle diminue en recevant de la chaleur de la part de l'absorbeur au cours du temps.

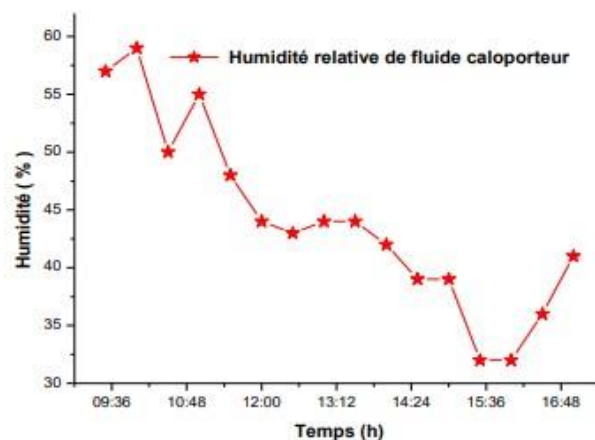


Fig.IV.3.Humidité relative du fluide caloporteur.

### 2.3. Vitesse du vent

La vitesse du vent varie d'une façon aléatoire, elle augmente puis elle diminue dans la matinée comme dans la soirée.

La variation de la vitesse du vent influe directement sur l'irradiation solaire reçue par l'absorbeur, en effet, plus la vitesse de l'air est faible plus l'irradiation solaire reçue est importante.

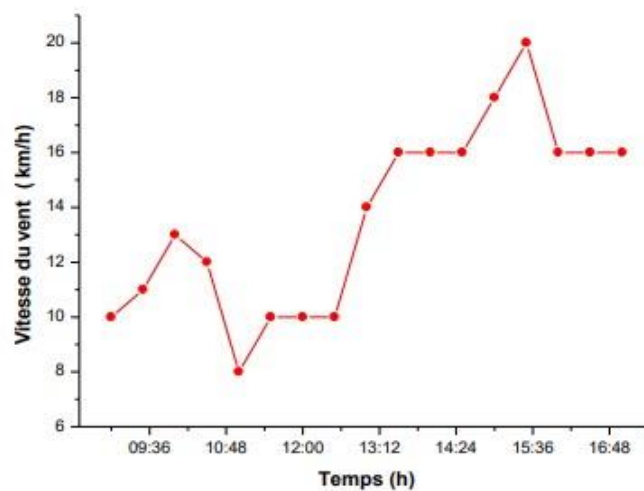


Fig. IV.4.Vitesse du vent.

### 2.4. Températures de l'air ambiant, de la vitre, d'entrée et de sortie du fluide caloporteur et celle de l'absorbeur pour un capteur à double vitrage

Les températures de l'air ambiant, de l'absorbeur, de l'entrée et de sortie du fluide caloporteur et de la vitre externe et la vitre interne sont représentées.

Comme les températures de l'absorbeur et de l'air ambiant sont les températures max et min, un transfert de chaleur vers l'extérieur du capteur a eu lieu.

La différence de températures d'entrée et de sortie du fluide caloporteur est relativement faible aux premières heures et aussi aux dernières heures, mais vers midi, cette différence augmente et ceci en bonne conformité avec l'irradiation solaire reçue, donc le transfert de chaleur est à son max vers midi et après midi.

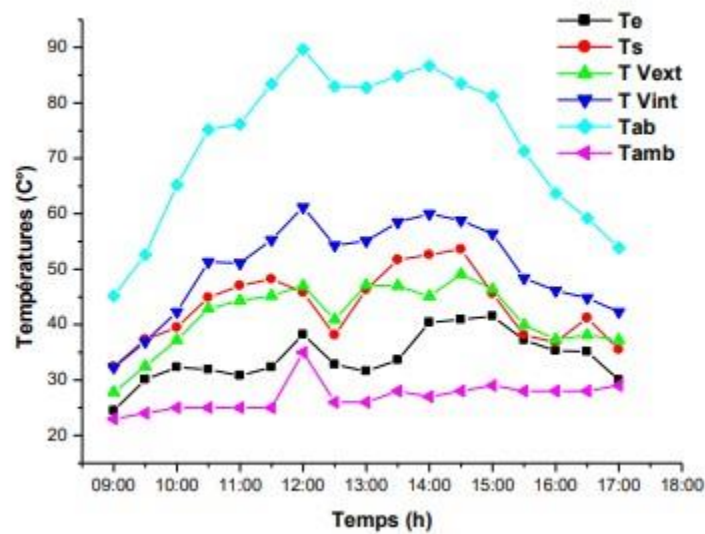


Fig. IV.5. Températures de l’air ambiante, de la vitre, d’entrée et de sortie du fluide caloporteur et celle de l’absorbeur pour un capteur à double vitrage.

### 3. Comparaison entre le simple vitrage et le double vitrage

#### 3.1. Températures des absorbeurs

L’effet de la température des absorbeurs, simple et double vitrage est examiné, d’où l’effet positif du double vitrage est nettement clair, donc, le double vitrage a permis d’améliorer la température de l’absorbeur et par voie de conséquence, l’échange thermique est meilleur.

Le capteur solaire à air et à double vitrage est plus performant que le capteur à simple vitrage.

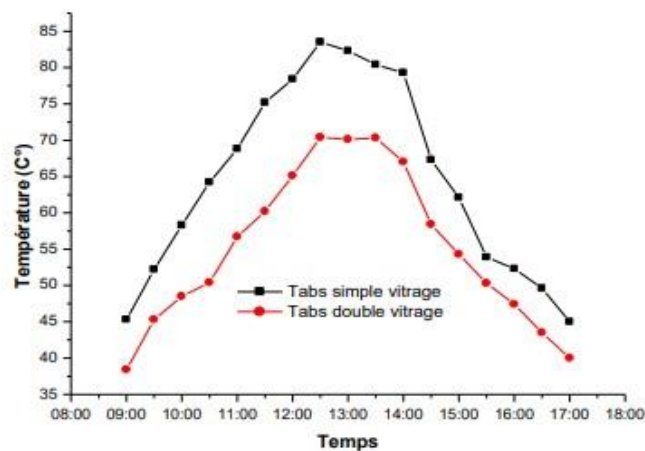


Fig. IV.6. Températures de l’air ambiante, de la vitre, d’entrée et de sortie du fluide caloporteur et celle de l’absorbeur pour un capteur à double vitrage.

### 3.2. Températures du fluide caloporteur

Une comparaison entre les températures du fluide caloporteur dans les deux cas, simple et double vitrage.

Le fluide caloporteur traversant le capteur solaire à double vitrage a une distribution de température plus importante que celle du simple vitrage, ce qui prouve que l'échange thermique dans le premier cas est plus important

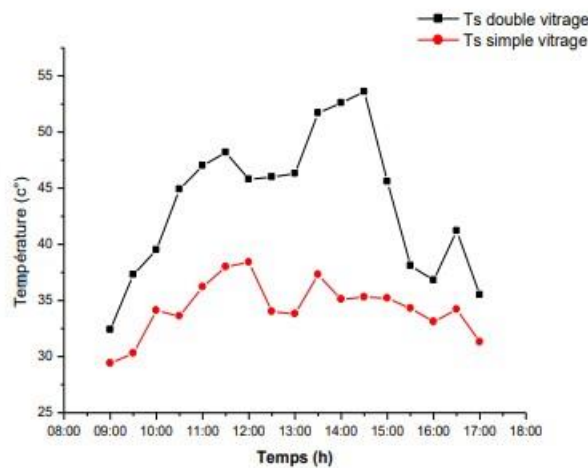


Fig. IV.7: Températures du fluide caloporteur.

## 4. Effet de l'espace entre l'absorbeur et la vitre

### 4.1. Températures des absorbeurs

L'effet de l'espace entre la vitre et l'absorbeur d'un capteur solaire à air et à double vitrage, est examiné. En effet, plus l'espace est réduit plus l'échange de chaleur est plus important et par voie de conséquence les performances de tel capteur sont meilleures.

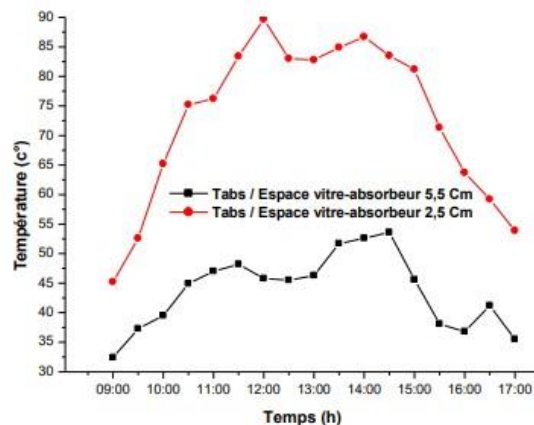
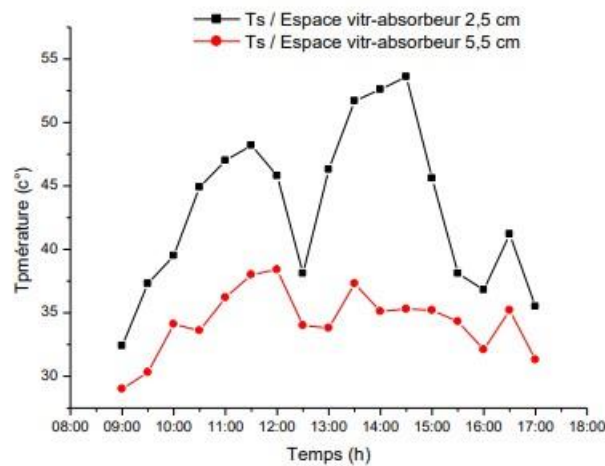


Fig. IV.8. Effet de l'espace entre vitre-absorbeur.



**Fig. IV.9. Températures du fluide caloporteur.**

#### 4.2. Températures du fluide caloporteur

Une comparaison entre les températures du fluide caloporteur dans les deux cas de double vitrage espace vitre-absorbeur 5.5 cm et 2.5 cm.

Le fluide caloporteur traversant le capteur solaire à double vitrage (espace vitre-absorbeur 5.5 cm) a une distribution de température plus importante que celle du capteur solaire à double vitrage (espace vitre-absorbeur 2.5 cm), ce qui prouve que l'échange thermique dans le premier cas est plus important.

#### Conclusion

Dans cette étude expérimentale, un capteur solaire à air et à double vitrage a été réalisé et testé au laboratoire dans la région M'sila en matière de captage du rayonnement solaire, dans le but de confirmer que capteur s'il est bien conçu d'une meilleure manière, Il a également été prouvé que ses performances sont bien meilleures que celles de capteur à air à simple vitrage, il présente une solution forte intéressante pour la satisfaction des besoins en énergie calorifique à basses et moyennes températures.

Notre conception a permis d'obtenir des températures du fluide assez élevés à la sortie.

# Conclusion Générale

### Conclusion

Une revue générale sur les capteurs solaires à air a été faite dans le but de comprendre leur principe de fonctionnement et d'en proposer certaines améliorations afin d'augmenter les performances de ces appareils.

Une étude détaillée sur les capteurs solaires à air et à double vitrage et les avancées réalisées par les chercheurs dans ce domaine a été également revue.

Pour passer de la théorie à l'expérimental, on a fait un prototype d'un capteur solaire à air et à double vitrage pour mettre en évidence l'ajout d'une deuxième vitre et examiner les effets sur les performances de ce type de capteurs.

Les résultats obtenus ont permis de comparer les performances d'un capteur à air à simple vitrage avec celles du capteur solaire à air et double vitrage.

L'ajout d'une deuxième vitre a permis d'améliorer nettement les performances de ce type de capteur.

L'effet de l'espace entre la vitre et l'absorbeur a permis de confirmer que l'espace est plus diminué est plus performant.

---

**Références**

- [1] BEKKOUCHE, S. M. E. A, « MODELISATION DU COMPORTEMENT THERMIQUE DE QUELQUES DISPOSITIFS SOLAIRES », Thèse de doctorat, L'UNIVERSITE ABOU- BAKR BELKAÏD – TLEMCEM, 2009.
- [2] Burrett. R, Clini. C, Dixon. R, Eckhart. M, El-Ashry. M, Gupta. D, Ballesteros. A, « Renewable energy policy network for the 21st century », REN21 Renewables Global Status Report, (2009).
- [3] MEKHELFI, Amina. « Evolution des exportations gazières de l'Algérie et son impact au sein de l'OPEC (1970 à 2012) », Algeria, Revue performance des entreprises algériennes, 2014, no 05.
- [4] BOUZID. Z, DEBBAB. M, BELAOUI. M, « Réactualisation de l'Évaluation du Gisement Solaire et Analyse de sa Complémentarité avec l'Énergie Éolienne en Algérie », publié par le CDER, Alger, 2013.
- [5] Bouhired-Sahnoune. F, « Commande et contrôle d'une installation thermique solaire », Mémoire de Magister, Université M'hamed Bougera de Boumerdes, 2004.
- [6] WEISS, W. et MAUTHNER, F, « Solar Heat Worldwide—Markets and Contribution to the Energy Supply 2012 », International Energy Agency Solar Heating and Cooling Program, 2014.
- [7] BENKHELIFA. A, « Optimisation d'un capteur solaire plan. Revue des Energies Renouvelables », 1998, p. 13-18.
- [8] F. Chabane, and E. SEKSEFF, « Experimental Study of a Double Glazed Solar Air Collector », Iranian Journal of Energy & Environment, IRAN, 21 October 2018. <https://doi.org/10.1080/15567036.2020.1767727>

- [9] MAME MOR DIARRA NDIAYE, « Optimisation des performances d'un capteur solaire à air et estimation des coefficients d'échange paroi-fluide », Thèse de doctorat, université Bourgogne Franche-Comté, 17 Décembre 2018.
- [10] HADJ AMMAR Mohammed Ali et MENECEUR Noureddine, «Rendement d'un capteur solaire a simple vitrage et a double vitrage "Etude et comparaison », Journal of Scientific Research, Centre Universitaire d'El Oued, 2010.
- [11] K. Aoues, N. Moumami, M. Zellouf, A. Moumami, A. Labed, E. Achouri et A. Benchabane, «Amélioration des performances thermiques d'un capteur solaire plan à air: Etude expérimentale dans la région de Biskra », Revue des Energies Renouvelables, Université Mohamed Khider B.P. 145, Biskra, Algérie.
- [12] S. Oudjedil, A. Boubghal, W. Braham Chaouch, T. Chergui et A. Belhamri, « Etude paramétrique d'un capteur solaire plan à air destiné au séchage », Revue des Energies Renouvelables SMSTS'08, pp 255 – 266, Adrar, Algérie, 2008.
- [13] C.Q. Chen, Y.H. Diao, Y.H. Zhao, Z.Y. Wang, T.T. Zhu, T.Y. Wang, L. Liang, « Numerical evaluation of the thermal performance of different types of double glazing flat-plate solar air collectors », Elsevier journal, China, June 2021. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.121087>
- [14] Andrei-Stelian Bejan, Abdelouhab Labihi, Cristiana Croitoru, Tiberiu Catalina, « Air Solar collectors in building use - A Review », article, Bucarest, Romania, 2018. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20183201003>
- [15]A. Benkhelifa, « Optimisation d'un Capteur Solaire Plan », revue des Energies Renouvelables, Bouzaréah, Alger, 1998.
- [16]B. TOUATI, N. KERROUMI, J. VIRGONE, « Etude théorique et expérimentale d'un capteur solaire à air », Fifth International Conference on Energy, October 2019, Constantine, Algeria.
- [17]A.P. Omojaro, L.B.Y. Aldabbagh, « Experimental performance of single and double pass solar air heater with finsand steel wire mesh as absorber », Applied Energy journal, Turc, 2010. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2010.06.020>
- [18]D. Bahrehmand, M. Ameri, « Energy and exergy analysis of different solar air collector systems withnatural convection », Renewable Energy journal, Iran, 2016.<http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2014.08.028>

- [19] Filiz Ozgen, Mehmet Esen, Hikmet Esen, « Experimental investigation of thermal performance of a double-flow solar air heater having aluminum cans », *Turc, Renewable Energy journal*, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2009.03.029>
- [20] Pierre D. Uwitije<sup>1</sup>, Ridho Hantoro, Nasri M. Yacine, and Abu B. M. Bangura<sup>1</sup>, « Simulation of Double Glazed Solar Collector for the Development and Application of Solar Energy », Constantine, Algérie, Department of Engineering Physics, 2019. <https://doi.org/10.1063/1.5095310>
- [21] H.Vettrivel, P.Mathiazhagan, « Comparison Study of Solar Flat Plate Collector with Single and Double Glazing System », India, department of Mechanical Engineering, 2017.
- [22] F. A. Peuser, K. H. Remmers, M. Schanauss, « installations solaires thermiques conception et mise en œuvre », livre, France, (2005).
- [23] O. Gergaud, « modélisation énergétique et optimisation économique d'un système de production éolien et photovoltaïque couplé au réseau et associé à un accumulateur », école normale supérieure de Cachan, France, (2002).
- [24] Bonal, J., Rossetti, P, « Les énergies alternatives », Omniscience, livre, France, 2007.
- [25] <https://www.albioma.com/magazine/comment-fonctionne-un-panneau-photovoltaique>.
- [26] Berrah. F, « Conception et simulation d'une centrale à tour sur sites Algériens », thèse de Master en énergies renouvelables, Université des sciences et de la technologie Houari Boumedienne, 2013.
- [27] <https://www.edf.fr/groupe-edf/espaces-dedies/l-energie-de-a-a-z/tout-sur-lenergie/produire-de-l-electricite/le-fonctionnement-d-une-centrale-solaire-thermique>.
- [28] <https://www.neozone.org/innovation/le-chauffe-eau-solaire-une-invention-durable-renouvelable-et-economique-pour-la-production-deau-chaude>.
- [29] Anderson B, « Solar energy: fundamentals in building design », New York: Mc Graw Hill, 1977.
- [30] A. Soteris, kalogirou, « solar thermal collectors and applications », *progress in energy and combustion science*, (30) 231–295 (2004).
- [31] G.iordanou, « flat-plate solar collectors for water heating with improved heat transfer for application in climatic », thèses, université of durham, 2009.

- [32] FATIHA SAHNOUNE, « CONTRIBUTION A LA MODELISATION ET A L'EXPERIMENTATION D'UNE INSTALLATION SOLAIRE DE PRODUCTION D'EAU CHAUDE EQUIPEE D'UN SYSTEME DE TELESURVEILLANCE », BOUMERDES, THESE DOCTORAT, 15 MARS 2016.
- [33] [http://www.solairethermique.guidenr.fr/cours\\_solairethermique.php](http://www.solairethermique.guidenr.fr/cours_solairethermique.php).
- [34] <https://www.guide-renovation.be/panneaux-solaires/panneau-solaire-thermique>.
- [35] Sellami mohamed hassen, « Etude et amélioration des techniques de distillation solaire dans la région sud-est algérien (Ouargla) », thèse de doctorat, université d'Ouargla, 2014.
- [36] Pierre Pardo, « Développement d'un procédé de stockage d'énergie thermique haute température par voie thermochimique », thèse doctorat en Génie des procédés et de l'Environnement, Université de Toulouse, décembre 2013.
- [37] M. Souliotis, S. Kalogirou, Y, « Trip anagnostopoulos, Modelling of an ICS solar water heater using artificial neural networks and TRNSYS », Renewable Energy 34,2009.
- [38] Martinez. I, Almanza. R, « Experimental and theoretical analysis of annular two-phase flow regimen in direct steam generation for a low-power system », Solar Energy 81, 16'226,2007.
- [39] H. P. Garg, Advances in solar energy technologie, Kluwer academic publishers, 1987.
- [40] ZAROUTA AMINE SEKKAI YAZID, «étude de performance d'un capteur solaire thermique plan », Université Yahia Fares de Médéa, 2022.
- [41] [http://www.solairethermique.guidenr.fr/I\\_capteur-solaire-thermique-concentration.php](http://www.solairethermique.guidenr.fr/I_capteur-solaire-thermique-concentration.php).
- [42] Pierre Garcia. Thèse « outils d'évaluation technico-économique et d'aide à la conception des centrales solaires thermodynamiques du futur », Perpignan : France, 2007.
- [43] <https://www.acteurdurable.org/solaire-thermodynamique/>.
- [44][http://ap.seconde.lorgues.free.fr/Applications/Conversion\\_dune\\_source\\_de\\_chaleur/chaleur-et-energie/solaire-thermique.html](http://ap.seconde.lorgues.free.fr/Applications/Conversion_dune_source_de_chaleur/chaleur-et-energie/solaire-thermique.html).
- [45]<https://www.construction21.org/maroc/articles/h/complexe-solaire-noor-lumiere-sur-le-batiment-phare.html>.
- [46] [http://www.solairethermique.guidenr.fr/I\\_différent-type-capteur-solaire-thermique.php](http://www.solairethermique.guidenr.fr/I_différent-type-capteur-solaire-thermique.php).
- [47] <https://www.energie-solaire.com/capteurs-termiques-non-vitr%C3%A9s>.

- [48] <https://www.totalenergies.fr/particuliers/parlons-energie/dossiers-energie/chauffage-et-climatisation/chauffage-piscine-et-panneau-solaire-un-tandem-qui-marche>.
- [49] Mr. Amraoui Mohammed Amine, « Etude numérique d'un capteur solaire plan à air Influence de la forme de la rugosité », MEMOIRE DE MAGISTER, Tlemcen, 2012.
- [50] <https://www.ecohabitation.com/guides/3301/autre-panneau-industrie-solaire-collecteur-thermique>.
- [51] <https://www.energie-solaire.com/capteurs-solaires-vitr%C3%A9s-fkf>.
- [52] JANNOT. Y, « Thermique solaire : Les capteurs solaires plans ». Mars 2011, pp. 21-37.
- [53] Nabil Belmabrouk, « Modélisation et simulation du comportement thermique transitoire d'un capteur solaire plan à air », MÉMOIRE DE MASTER, Université Mohamed Khider de Biskra, 2019.
- [54] VarunPratap Singh, Siddharth Jain, AshishKarn, AshwaniKumar, GauravDwivedi, ChandanSwaroopMeena, Nitesh Dutt, AritraGhosh, « Recent Developments and Advancements in Solar Air Heaters: A DetailedReview », Sustainability journal, Inde, 2022.
- [55] Afedes, Momosol, « memento d'héliotechnique, édition européennes thermique et industrie », paris 1979.
- [56] [https://wiki.lowtechlab.org/wiki/S%C3%A9choir\\_solaire\\_indirect](https://wiki.lowtechlab.org/wiki/S%C3%A9choir_solaire_indirect).
- [57] Abbaz Dalila, Optimisation des paramètres de fonctionnement d'un plancher solaire direct (PSD), Thèse Magister En Physique, Spécialité Energies Renouvelables, Université Des Constantine, 2013.
- [58] Guy Isabel, « Les capteurs solaires à air, Réaliser -Installer – Gérer », groupe Eyrolles, France, 2012.
- [59] Sandali Messaoud, « étude dynamique et thermique d'un capteur solaire à air à double passe avec milieu poreux », Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen Algérie, Thèse Magister en génie mécanique Spécialité Energétique Option Dynamique Des Transferts, 2014.
- [60] Benyelles Batoul, « Analyse par CAO de l'effet de diffusion des matériaux poreux utilisés en conversion photo-thermique », Université Tlemcen, Thèse Magister En Physique Energétique, 1995.

- [61] Satyender Singh, Prashant Dhiman , « Using an Analytical Approach to Investigate Thermal Performance of Double-Flow Packed-Bed Solar Air Heaters with External Recycle », *Journal of Energy Engineering* ,Cambridge University, 09/17/15.[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EY.1943-7897.0000211](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EY.1943-7897.0000211) .
- [62] M.PARRY, O.CANZIANI, J.PALUTIKOF, «The IPCC 4th Assessment report is coming out A picture of climate change the current state of understanding », rapport, CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS, IPCC, anglais, 2007.
- [63] A.RICAUD, « Gisement solaire et transferts énergétique», Université de CERGY, Master Energies Renouvelables, Pontoise, Jan 2011.
- [64] S. Karsli. Performance analysis of new-design solar air collectors for drying applications. *Renewable Energy*, 32, pp. 1645–1660. (2007).
- [65] R. Karwaa, N. Karwab, R. Misrac, P. C. Agarwalc. Effect of flow mal distribution on thermal performance of a solar air heater array with sub collectors in parallel. *Energy* 32, pp. 1260–1270. (2007).
- [66] H. Gunerhan, A. Hepbasli. Determination of the optimum tilt angle of solar collectors for building applications. *Building and Environment*, 42, pp. 779–783. (2007).
- [67] T. Koyuncu. “Performance of various design of solar air heaters for crop drying applications”. *Renewable Energy*, 31, pp. 1073–1088. (2006).
- [68] A. HADDAD, « Transferts thermiques », Dar -El - Djazairia, Alger, 2001.
- [69] DE VRIENDT, « LA TRANSMISSION DE LA CHALEUR VOL 1 T.2», Chicoutimi (Québec) Université, Gaëtan Morin, 4 Janvier 1999.
- [70] Olivier Marc, « Étude expérimentale, modélisation et optimisation d’un procédé de rafraîchissement solaire à absorption couplé au bâtiment », Thèse Doctorat Spécialité Mécanique Energétique et Environnement, Université de la Réunion France, 2010.

## Résumé

Une étude expérimentale d'un capteur solaire à air et à double vitrage a été faite au laboratoire de physique énergétique de l'université Mohamed BOUDIAF Msila. Une revue sur les capteurs solaires à air et les différents techniques et types de ces capteurs ainsi que leurs applications dans les domaines habitation et séchage, a été menée. Une étude détaillée sur le capteur solaire à air et double vitrage et ses composants, vitrage, absorbeur et isolant ainsi que leurs rôles et propriétés thermique et physique aussi les modes de transfert de chaleur entre les différents composants, a été faite. Les différents étapes de montage du capteur solaire à air et à double vitrage sont exposées et l'insertion des appareils de mesures au sein du capteur tout en indiquant les coordonnées géographiques du site de Msila. Une comparaison entre les capteurs solaires à air à simple et à double vitrage a été faite, dont l'effet positif du double vitrage a été démontré. L'espace inter-vitres du capteur solaire à double vitrage a été mis en évidence d'où on a remarqué que plus l'espace vitre-absorbeur est réduit, plus la température de sortie du fluide caloporteur est élevée.

## Abstract

An experimental study of a solar collector with air and double glazing was carried out at the laboratory of energetic physics of the University Mohamed BOUDIAF Msila. A review of solar air collectors and the different techniques and types of these collectors as well as their applications in the fields of housing and drying has been carried out. A detailed study on the solar collector with air and double glazing and its components, glazing, absorber and insulation as well as their roles and thermal and physical properties as well as the modes of heat transfer between the various components, was made. The various stages of assembly of the air and double-glazed solar collector are exposed and the insertion of the measuring devices within the collector while indicating the geographical coordinates of the Msila site. A comparison between single and double glazing solar air collectors was made, of which the positive effect of double glazing was demonstrated. The inter-glass space of the double-glazed solar collector has been highlighted, from which it has been noticed that the more the glass-absorber space is reduced, the higher the outlet temperature of the heat transfer fluid.

## ملخص

تم إجراء دراسة تجريبية لمجمع شمسي هوائي ومزدوج الزجاج في معمل فيزياء الطاقة بجامعة محمد بوضياف مسيلة. تم إجراء مراجعة لمجمعات الهواء الشمسية والتقنيات والأنواع المختلفة لهذه المجمعات بالإضافة إلى تطبيقاتها في مجالات الإسكان والتجفيف. تم عمل دراسة تفصيلية للمجمع الشمسي بالهواء والزجاج المزدوج ومكوناته والتزجيج والامتصاص والعزل وكذلك أدوارهما وكذا خواصهم الحرارية والفيزيائية وطرق انتقال الحرارة بين المكونات المختلفة. يتم الكشف عن المراحل المختلفة لتجميع الهواء والمجمع الشمسي المزدوج الزجاج وإدخال أجهزة القياس داخل المجمع مع الإشارة إلى الإحداثيات الجغرافية لموقع المسيلة. تم إجراء مقارنة بين مجمعات الهواء الشمسي ذات الزجاج الفردي والمزدوج، والتي تم إثبات التأثير الإيجابي للزجاج المزدوج. تم تسليط الضوء على المساحة الداخلية الزجاجية لمجمع الراتب المزجج المزدوج والتي لوحظ من خلالها أنه كلما تم تقليل مساحة امتصاص الزجاج، زادت درجة حرارة مخرج سائل نقل الحرارة.