

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de
La Recherche Scientifique
Université Saad Dahlab, Blida-1
Faculté de technologies
Département des Énergies Renouvelables



Mémoire Présenté
Pour l'obtention du diplôme de MASTER
EN
ENERGIES RENOUVELABLES
OPTION : CONVERSION THERMIQUE

Thème :

**REALISATION ET ETUDE PARAMETRIQUE
DUN CAPTEUR A AIR POUR UN PANNEAU PV
(Panneau PVT a air)**

Par :
BAHRIA MOURAD

Soutenu le 30 juin 2024 devant le jury composé de :

Madame	CHAOUCHI.S	USDB 1	Président
Monsieur	DOUMAZ.T	USDB 1	Encadreur
Madame	GUEBLI.W	USDB 1	Examineur

Remerciements

Je suis reconnaissant envers ALLAH le tout-puissant de m'avoir accordé le courage, la volonté et la patience nécessaires pour mener à bien cette travaille.

Je souhaite exprimer ma profonde gratitude envers mon , promoteur Monsieur DOUMAZ Toufik. Je lui suis reconnaissant de m'avoir guidé, guidé, aidé et recommandé.

Je tiens également à exprimer ma gratitude envers tous les membres du jury, pour avoir accepté de lire ce manuscrit et fournir les critiques nécessaires pour la finalisation de ce mémoire.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude envers Monsieur BOU- ZAKI Moustafa, responsable du service des énergies renouvelables.

J'exprime ma gratitude envers tous les professeurs qui m'ont en- signé tout au long de mon parcours académique, attention particulière aux professeurs spécialisés en conversion thermique.

Enfin, je tiens à exprimer ma gratitude envers tous mes amis et collègues de promotion du département d'énergie renouvelable qui ont toujours été présents à mes côtés. Leur soutien sans faille et leurs encouragements ont été extrêmement bénéfiques.

Dédicace

Je dédie **cette** modeste travaille.

À mes chers parents, votre courage et vos dévouements ont été le soutien le plus précieux pour moi tout au long de cette longue trajectoire.

À mes frères et à mes sœurs chacun avec son nome

À mes neveux <Ismail. Mohammed. Ayoub. Adam
Mohammed. Rasim >.

A mes belles **RITAJE** et **ABRARE**

À l'ensemble de ma famille.

À tous mes professeurs.

À l'ensemble de la famille du service des énergies renouvelables.

Je consacre cette modeste tâche.

BAHRIA MOURAD

RESUME

Le refroidissement d'un capteur photovoltaïque revêt une importance capitale, en particulier dans des pays chauds tels que l'Algérie. La production d'énergie

Solaire, que ce soit thermique ou électrique, aide non seulement à réduire les effets de serre, mais aussi à développer les régions enclavées qui n'ont pas accès aux différentes sources d'énergie. Car on sait que le rendement diminue quand la température du panneau augmente, alors le refroidissement du panneau par un capteur à air permet d'avoir une valeur fixe de rendement. Ce mémoire propose une étude expérimentale d'un capteur à air on va étudier l'influence de nombre et épaisseur des canaux sur le rendement d'un capteur, ainsi que la matière de capteur.

Mots clés : énergie photovoltaïque, panneau photovoltaïque-thermique, capteur thermique à air, énergie thermique.

المخلص

يعد تبريد المجمع الكهروضوئي ذا أهمية قصوى، خاصة في البلدان الساخنة مثل الجزائر. إن إنتاج الطاقة الشمسية، سواء الحرارية أو الكهربائية، يساعد ليس فقط على الحد من آثار الاحتباس الحراري، ولكن أيضا على تطوير المناطق غير الساحلية التي لا تستطيع الوصول إلى مصادر الطاقة المختلفة. أننا نعلم أن الكفاءة تنخفض عندما ترتفع درجة حرارة اللوحة، فإن تبريد اللوحة بواسطة حساس الهواء يجعل من الممكن الحصول على قيمة ثابتة للكفاءة. تقترح هذه الأطروحة دراسة تجريبية لحساس الهواء الذي سندرسه تأثير عدد وسمك القنوات على كفاءة المستشعر وكذلك مادة المستشعر.

الكلمات الدالة : الطاقة الكهروضوئية، الألواح الكهروضوئية الحرارية، المجمع الحراري للهواء، الطاقة الحرارية.

Abstract

Cooling a photovoltaic collector is of Paramount importance, particularly in hot countries such as Algeria. The production of Solar energy, whether thermal or electrical, helps not only to reduce greenhouse effects, but also to develop landlocked regions that do not have access to different energy sources. Because we know that the efficiency decreases when the temperature of the panel increases, then the cooling of the panel by an air sensor makes it possible to have a fixed value of efficiency. This thesis proposes an experimental study of an air sensor we will study the influence of number and thickness of channels on the efficiency of a sensor, as well as the sensor material.

Keywords: photovoltaic energy, photovoltaic-thermal panel, air thermal collector, thermal energy.

Nomenclature – symboles- acronymes

V_{th} : le potentiel thermique en Volt (V)

K : la constante de Boltzmann (1.38066×10^{-23} J/K = 8.61400×10^{-5} eV/K).

T : la température absolue en Kelvin (K)

q : la charge absolue d'un électron en coulomb (1.60281×10^{-19} C)

I_s : le courant de saturation en Ampère (A)

n : le facteur de qualité de lediode ;

V_{th} : le potentiel thermique en Volt (V)

I_{Ph} : photo-courant généré (proportionnel au rayonnement incident)

S : surface de la cellule en m^2 .

E : l'ensoleillement en W/m^2 .

V_{CO} : la tension du circuit ouvert

$I_{sc} = I_{cc}$: le courant de court-circuit

$I_{pcc} = n I_{cc}$: le courant de court-circuit.

$V_{pco} = V_{co}$: la tension de circuit ouvert.

G : Irradiation solaire (W/m^2)

A : Surface du capteur (m^2)

η_{PV} : Efficacité du module photovoltaïque

\dot{m} : Débit massique de l'air (kg/s)

C_p : Capacité thermique massique de l'air ($J/kg \cdot K$)

T_{sortie} : Temperature de l'air en sortie du capteur (K)

T_{entree} : Temperature de l'air en entrée du capteur (K)

h_{conv} : Coefficient de convection ($W/m^2 \cdot K$)

T_{air} : Temperature de l'air ambiant (K)

k : Conductivity thermique du matériau ($\text{W/m}\cdot\text{K}$)

T_{int} : Température intérieure (K)

T_{ext} : Température extérieure (K)

d : Épaisseur du matériau (m)

ϵ : Émissivité de la surface

σ : Constant de Stefan-Boltzmann ($5.67\times 10^{-8}\text{W/m}^2\cdot\text{K}^4$)

T_{surface} : Temperature de la surface du capteur (K)

T_{ambient} : Temperature ambiante (K)

Sommaire :

Remerciements.....	1
Dédicace	2
RESUME	3
Nomenclature.....	4
Sommaire.....	6
Liste des figures.....	10
Liste des tableaux	13
Introduction Générale	15
Chapitre I : Etat de l'Art	16
Chapitre II : les capteurs à air	28
II .1. Introduction.....	29
II .2. Énergie solaire.....	29
II .3. Les types des capteurs solaires.....	29
II .3.1. Les capteurs plans non vitrés	29
II .3.2. Les capteurs avec des plans vitrés.....	30
II .3.3. Le capteur sous vide à tubes	30
II .3.4. Le capteur cylindroparabolique.....	30
II .3.5. Le capteur de CPC	30
II .4. Fonctionnement d'un capteur solaire air.....	31
II .5. Les éléments constitutants du capteur à air.....	32
II .5.1. Absorbeur.....	32
II .5.2. Couverture transparente	33
II .5.3. Le fluide caloporteur	34
II .5.4. L'isolation thermique	34
II .5.5. Le coffre.....	35
II .6. Types des capteurs solaires à air	36
II .6.1. Capteurs à absorbeur plan	36
II .6.2. Les capteurs à absorbeur perméable.....	36
II .6.3. Capteurs à absorbeur à géométrie variable.....	37
II.7. Applications des capteurs solaires plans à air	37
II .7.1. Chauffages et climatisation des habitations	37
II .7.2. Séchage	38
II .7.3. Production de l'énergie mécanique	39
II.8. Conclusion	39
Chapitre III : l'énergie photovoltaïque	40
III.1. Introduction	41
III.2. Effet photoélectrique	42
III.3. La cellule photovoltaïque	42
III.4. Historique de la cellule photovoltaïque	43
III.5. Principe de fonctionnement de la cellule PV.....	43

III.6. Différentes structures des cellules PV	43
III.6.1. Les cellules solaires au silicium.....	44
III.6.2. Le silicium monocristallin.....	44
III.6.3. Le silicium poly cristallin.....	45
III.6.4. Le silicium amorphe.....	45
III.6.5. Pérovskites	45
III.6.6. Arséniure de gallium (GaAs)	45
III.6.7. Tellurure de cadmium (CdTe).....	46
III.7. Modèle et circuit équivalent d'une cellule PV	47
III.8. Caractéristiques électriques de la cellule photovoltaïque.....	49
Paramètres externes.....	49
III.9. Association des cellules PV (le module PV).....	50
III.10. Le panneau PV	54
III.11. Le régulateur (contrôleur de charge).....	59
III.12. Le convertisseur d'énergie (onduleur)	60
III.13. Différents systèmes photovoltaïques.....	60
III.13.1. Systèmes autonomes	61
III.14.2. Systèmes avec accumulateurs	61
III.14.3. Système sans accumulateurs	61
III.14.4. Systèmes hybrides.....	61
III.14.5. Systèmes connectés au réseau.....	61
III.14.6. Systèmes photovoltaïques directement relié au réseau.....	62
III.14.7. Systèmes photovoltaïques relié au réseau avec batterie.....	62
III.14. Avantages et inconvénients des systèmes PV	63
III.14.1. Inconvénients	64
III.15. Conclusion	64
Chapitre IV : REALISATION	65
IV.1 Introduction	66
IV.2. Modélisation du capteur a air.....	66
IV.2.1 Description du système d'étude	66
IV.2.2 Le bilan thermique	67
IV.2.3 DESCRIPTION DU BANC DESSAI.....	69
IV.2.4 Réalisation du capteur hybride PVT.....	69
IV.2.5 Le panneau photovoltaïque.....	69
IV.2.6 Chauffe-air en aluminium.....	70
IV.2.7 Les instruments utilisés.....	71
IV.3 Chauffe-air en bois	74
IV.4 Chauffe-air en aluminium avec des chicane vertical.....	75
IV.5 Les tests finaux	76

IV.6 Conclusion	77
Chapitre V : RESULTATS ET DISCUSSIONS	78
V.1. Introduction.....	79
V.2. Cas du capteur solaire à air on aluminium.....	79
V.2.1. Comparaison entre les ΔT	116
V.3. Cas de capteurs solaire a air on bois	119
V.4. Cas de capteurs solaire à air on aluminium avec des chicane verticale.....	122
V.5. Conclusion	125
Conclusion générale	126
REFERANCES	127

Liste des figures :

Chapitre I

- Figure (I.1) : coupe transversale du composant hybride à eau
- Figure (I.2) : PV/THERM à deux fluides et à fonctions superposées [9]
- Figure (I.3) : Les capteurs solaires pvT à eau
- Figure (I.4) : des capteurs à eau
- Figure (I.5) : système hybride PVT
- Figure (I.6) : schéma d'agrammatique du système PVT. [19]
- Figure (I.7) : variation horaire d'une efficacité exégétique globale pour capteur hybride semi-transparent
- Figure (I. 8) : histogrammes comparatifs quotidiens moyens des rendements électriques, thermiques et
- Figure (I.9) : Schéma d'agrammatique du processus de transfert d'énergie PVT.
- Figure (I.10) : Diagramme simplifié du processus de transfert d'énergie ST.
- Figure (I.11) : Vue schématique de la section transversale du PVT nouvellement conçu. (29)

Chapitre II

- Figure (II – 1) : Capteur solaire a air [40]
- Figure (II – 2) : Une coupe sur capteur solaire plan [31]
- Figure (II-3) : Types d'absorbeur perméable
- Figure (II-4) : Principales géomètres d'absorbeur
- Figure (II-5) : Chauffages et climatisation des habitations
- Figure (II -6) : Séchage solaire [36,37]

Chapitre III

- Figure (III .1) : Structure schématique d'une cellule solaire
- Figure (III.2) : Types de cellules solaires
- Figure (III.3) : Circuit électrique équivalent d'une cellule solaire
- Figure (III.4) : Caractéristique courant - tension (I-V)
- Figure (III .5) : Caractéristique puissance - tension (P-V)
- Figure (III .6) : Courbes P(V) d'un panneau à divers ensoleillements à $T=25^{\circ}\text{C}$
- Figure (III.7) : Courbes I(V) d'un panneau à divers ensoleillements à $T=25^{\circ}$
- Figure (III .8) : Courbes P(V) d'un GPV pour différentes températures à $G=1000\text{W/m}$
- Figure (III.9) : Courbes I(V) d'un GPV pour différentes températures à $G=1000\text{W/m}$
- Figure (III .10) : Cellule, module, panneau, champ photovoltaïque

- Figure (III.11) : Schéma de 3 cellules photovoltaïques associées en série
 Figure (III .12) : Caractéristique P-V des cellules PV raccordées en série
 Figure (III .13) : Caractéristique I-V des cellules PV raccordées en série
 Figure (III .14) : Schéma de 3 cellules photovoltaïques associées en parallèle
 Figure (III .15) : Caractéristique P-V des cellules PV raccordées en parallèle
 Figure (III .16) : Caractéristique I-V des cellules PV raccordées en parallèle
 Figure (III .17) : Les constituants d'un système PV
 Figure (III.18) : Schéma synoptique d'un système PV autonome avec batterie
 Figure (III.19) : Système photovoltaïque directement relié au réseau
 Figure (III .20) : Système photovoltaïque relié au réseau avec batterie

CHAPITRE IV

- Figure (IV-1) : Photo du module PV Condor de 160Wc
 Figure (IV-2) : Le capteur solaire a air en aluminium réalisé
 Figure (IV-3) : Digital luxmètre
 Figure (IV-4) : Thermocouple type j
 Figure (IV-5) : Multimètre volt Raft M-3850
 Figure (IV-6) : Le capteur solaire a air on doit réaliser
 Figure (IV-7) : Chauffe-air en aluminium avec des chicanes verticales

CHAPITRE V

- Figure(V-1) : Les variations des températures on fonction de temps dans le

Capteur à aire avec une canal et épaisseur de 34mm.

- Figure(V-2) : Les variations des températures on fonction de temps dans le
 Capteur à aire avec une canal et épaisseur de 68mm.

- Figure(V-3) : Les variations des températures on fonction de temps dans le
 Capteur à aire avec deux canaux et épaisseur de 34mm.

- Figure(V-4) : Les variations des températures on fonction de temps dans le
 Capteur à aire avec deux canaux et épaisseur de 68mm.

Figure(V-5) : Les variations des températures On fonction de temps dans le Capteur à aire avec trois canaux et épaisseur de 34 mm

Figure(V-6) : Les variations des températures on fonction de temps dans le Capteur à aire avec trois canaux et épaisseur de 68mm.

Figure(V-7) : Les variations des températures on fonction de temps dans le Capteur à aire avec quatre canaux et épaisseur de 34 mm.

Figure(V-8) : Les variations des températures on fonction de temps dans le Capteur à aire avec quatre canaux et épaisseur de 68mm.

Figure(V-9) : Les variations des températures on fonction de temps dans le Capteur à aire avec Cinq canaux et épaisseur de 34 mm

Figure(V-10) : Les variations des températures on fonction de temps dans le Capteur à aire avec cinq canaux et épaisseur de 68mm.

Figure(V-11) : Les variations des températures on fonction de temps dans le Capteur à aire avec six canaux et épaisseur de 34mm.

Figure(V-12) : Les variations des températures on fonction de temps dans le Capteur à aire avec sept canaux et épaisseur de 34 mm.

Figure(V-13) : Les variations des températures on fonction de temps dans le Capteur à aire avec sept canaux et épaisseur de 68mm.

Figure(V-14) : Les variations des températures on fonction de temps dans le Capteur à aire avec sept canaux et épaisseur de 112 mm.

Figure(V-15) : Les variations des ΔT on fonction de temps

Figure(V-16) : Les variations des températures on fonction de temps dans le Capteur à air en bois avec une canal et épaisseur de 34 mm

Figure(V-17) : la variation de ΔT et l'éclairement en fonction de temps dans le capteur à air en bois avec une canal et épaisseur de 34 mm

Figure(V-18) : Les variations des températures on fonction de temps dans le Capteur à air en aluminium avec des canaux vertical d'épaisseur de 34 mm

Figure(V-19) : la variation de ΔT et l'éclairement en fonction de temps dans le capteur à air en bois avec une canaux et épaisseur de 34 mm.

Liste des tableaux :

Chapitre II

Tableau (II -1) : Propriétés des matériaux pour le choix de l'absorbeur [4]

Tableau (II -2) : Propriétés des matériaux du vitrage [30]

Tableau (II -3) : Propriétés des matériaux de l'isolation [30]

Chapitre IV

Tableau (IV-1) : les caractéristiques du panneau solaire utilisent

Chapitre V

Tableau (V-1) : Les mesure obtenu pour cas de capteurs solaire à air avec un canal et une épaisseur de 34 mm

Tableau (V-2) : Les mesure obtenu pour cas de capteurs solaire à air avec un canal et une épaisseur de 68mm

Tableau (V-3) : Les mesure obtenu pour cas de capteurs solaire à air avec deux canaux et une épaisseur de 34 mm

Tableau (V-4) : Les mesure obtenu pour cas de capteurs solaire à air avec deux canaux et une épaisseur de 68 mm

Tableau (V-5) : Les mesure obtenu pour cas de capteurs solaire à air avec trois canaux et une épaisseur de 34 mm

Tableau (V-6) : Les mesure obtenu pour cas de capteurs solaire à air avec trois canaux et une épaisseur de 68 mm

Tableau (V-7) : Les mesure obtenu pour cas de capteurs solaire à air avec quatre canaux et une épaisseur de 34 mm

Tableau (V-8) : Les mesure obtenu pour cas de capteurs solaire à air avec quatre canaux et une épaisseur de 68 mm

Tableau (V-9) : Les mesure obtenu pour cas de capteurs solaire à air avec cinq canaux et une épaisseur de 34 mm

Tableau (V-10) : Les mesure obtenu pour cas de capteurs solaire à air avec six canaux et une épaisseur de 34 mm

Tableau (V-11) : Les mesure obtenu pour cas de capteurs solaire à air avec sept Canaux et une épaisseur de 34 mm

Tableau (V-12) : Les mesure obtenu pour cas de capteurs solaire à air avec sept Canaux et une épaisseur de 68 mm

Tableau (V-13) : Les mesure obtenu pour cas de capteurs solaire à air avec sept Canaux et une épaisseur de 112 mm

Tableau (V-14) : Les variations des Δt en fonction de températures dans le capteur à air

Tableau (V-15) : Les mesure obtenu pour cas de capteurs solaire à air avec sept Canaux et une épaisseur de 112 mm

Tableau (V-16) : Les mesure obtenu pour cas de capteurs solaire à air avec Canaux verticaux et une épaisseur de 34 mm

Introduction générale

L'Algérie possède une grande disponibilité d'énergies fossiles. L'avenir énergétique de notre pays semble être garanti, étant la dixième réserve mondiale de gaz et la troisième réserve africaine de pétrole. Cependant, suite à la diminution du prix du pétrole ces dernières années, une crise énergétique s'est développée en Algérie, ce qui a conduit le gouvernement algérien à chercher de nouvelles sources d'énergie afin de combler le déficit. En 2012, sur une capacité de 13 GWT, 98% des installations utilisent des énergies fossiles. Cela a donné lieu à un accès à l'électricité de 100%. D'autre part, cette forte quantité engendre une dépendance, ce qui a conduit le gouvernement à mettre en œuvre en 2011, puis en 2015, un programme axé sur les énergies renouvelables et l'efficacité énergétique.

Le programme est prévu que la part des énergies renouvelables dans le mix Énergétique atteigne 40% d'ici 2030. L'Algérie possède l'un des plus grands gisements solaires au monde, avec une estimation de plus de 5 milliards de GWh. Selon la localisation, le potentiel solaire varie entre 1700 et 2650 kWh/m²/an, ce qui correspond à un ensoleillement annuel de plus de 3500 heures. En 2015, on a mis en service 14 centrales électriques photovoltaïques d'une puissance installée de 268 MW dans les Hauts Plateaux et le sud du pays. L'une des difficultés du photovoltaïque réside dans son rendement inférieur à 16% et qui diminue pendant les périodes de chaleur. En raison de la chaleur de l'Algérie, il existe des solutions de cogénération qui impliquent

Les systèmes hybrides (PV Thermique) permettraient de résoudre ce problème en absorbant la chaleur émise par les systèmes photovoltaïques grâce à des fluides caloporteurs, ce qui permettrait de refroidir les modules. L'objectif de cette étude est de créer un capteur solaire hybride photovoltaïque thermique à air en utilisant des produits locaux. Et avoir l'influence du design de ce dernier (nombre des Canaux et leurs épaisseur) sur le rendement de capteur.

Le présent travail inclut Chapitres :

Chapitre I : le premier Chapitre sera une vue historique sur systèmes hybrides PVT (photovoltaïques/thermiques)

Chapitre II : Le deuxième Chapitre portera sur une analyse théorique du capteur solaire et des concepts sur ses divers composants et classifications.

Chapitre III : troisième chapitre une étude théorique sur les systèmes Photovoltaïques

Chapitre quatre : une présentation des matières et les étapes de réalisations de capteur, où nous avons employé des instruments de mesure et des méthodes de mesure particulières.

Chapitre cinq : Dans le chapitre final, nous exposons les résultats expérimentaux en utilisant des courbes, puis nous les analysons en profondeur.

Nous concluons notre étude en présentant une conclusion globale concernant la comparaison du capteur solaire à air du côté les nombres des canaux et leur épaisseur et la matière de capteur

CHAPITRE I : ETAT DE L'ART

I.1. État de l'art :

On appelle panneaux hybrides photovoltaïques et thermiques le concept d'un Capteur solaire photovoltaïque associé à un dispositif thermique. Elle agit En Transformant une partie du rayonnement solaire absorbé par le capteur photovoltaïque en électricité et en extraissant une partie de la chaleur dissipée par les panneaux photovoltaïques grâce au fluide caloporteur, qu'il s'agisse d'air ou d'eau, ce qui provoque un refroidissement des cellules. En produisant de la chaleur et de l'électricité en même temps, ce panneau hybride améliore le rendement énergétique de ce système multifonctionnel tout en le rendant plus compétitif en termes d'investissement. Par conséquent, le retour sur investissement est accéléré.

Pendant la dernière décennie, les panneaux solaires photovoltaïques/thermiques ont connu des avancées significatives en matière de conception, de matériaux et de performances. Les chercheurs ont étudié différentes configurations pour Améliorer l'efficacité énergétique et la rentabilité de ces dispositifs, telles que les systèmes intégrés et les systèmes modulaires. En outre, l'incorporation de panneaux hybrides dans les constructions et les réseaux électriques a ouvert de nouvelles opportunités pour une utilisation plus efficace et durable de l'énergie solaire. L'étude des développements et des avancées les plus récents dans les panneaux hybrides photovoltaïques et thermiques a été réalisée à travers une synthèse bibliographique. Les diverses architectures, les matériaux employés, les mécanismes de conversion d'énergie et les bénéfices potentiels de ces systèmes seront abordés.

Les études sur les panneaux solaires thermiques ont commencé dans les années 1970, peu de temps après la mise au point des premières cellules solaires à silicium, et ont connu une expansion durant les années 80.

En 2005, Zondag [1] présente une analyse des avancées technologiques des capteurs solaires hybrides PV/T dans le cadre des recherches menées par le projet européen PV-Catapult [2]. D'après Zondag [1], parmi les premières études, certaines se concentrent sur l'évolution de la configuration géométrique des composants, tandis que d'autres se concentrent sur les techniques de modélisation. Il mentionne donc :

-le travail de Wolf [3], qui a réalisé en 1976 une étude sur un capteur solaire thermique comprenant des modules photovoltaïques en silicium et connectés à un système de chauffage. Selon Kern et Russel en 1978 [4], les principes fondamentaux des capteurs solaires utilisant de l'eau ou de l'air comme fluide caloporteur sont donnés.

Hendrie, en 1982 [5], a élaboré un modèle théorique de système hybride PV/T qui

repose sur les corrélations établies pour des capteurs solaires classiques. Dans son article de 1981, Raghuraman [6] expose des techniques numériques qui permettent de prédire les performances des capteurs solaires plans PV/T à eau ou à air. En 1985, Cox et Raghuraman [7] créent des logiciels de simulation qui permettent d'étudier les performances des systèmes PV/T hybrides à air, en mettant l'accent sur l'impact des caractéristiques optiques du vitrage sur les performances thermiques et électriques de ces composants solaires.

Selon Lalovic et ses collègues [8], un nouveau type de cellules amorphes a-Si transparentes est proposé en 1986 comme une solution économique pour la fabrication de modules photovoltaïques.

Plusieurs recherches expérimentales et théoriques ont ensuite été menées, dans le but de développer des systèmes hybrides PV/T [9].

D'autres études ont été publiées dans le but d'améliorer les performances en améliorant les conditions de fonctionnement (inclinaison, orientation du composant...) ou en proposant des configurations géométriques novatrices. Elles reposent donc sur l'ajustement des dimensions ou des caractéristiques des matériaux constitutifs (isolant thermique, absorbeur, cellules photovoltaïques...) ou des fluides caloporteurs (air, eau glycole...). L'objectif de ces améliorations est d'augmenter l'absorption d'énergie solaire et les transferts thermiques entre le fluide caloporteur et l'absorbeur, ou de diminuer voire éliminer les pertes thermiques extérieures du capteur solaire multifonctionnel.

Un capteur solaire PV/T hybride à eau a été développé et construit par Fujisawa et Tani [10] en 1997, sur une cité universitaire à Tōkyō, au Japon (voir figure I.1). Le capteur solaire hybride examiner est constitué d'un capteur solaire vitré à liquide équipé d'un absorbeur en aluminium non-sélectif et d'un module PV en silicium monocristallin sur le vitrage (Figure I.2). L'objectif de l'analyse était d'évaluer les performances énergétiques du composant examiné. De cette manière, une expérimentation in situ a été réalisée sur ce capteur solaire vitré ainsi que sur un capteur solaire similaire mais sans vitrage afin d'évaluer et de comparer leurs performances énergétiques annuelles.

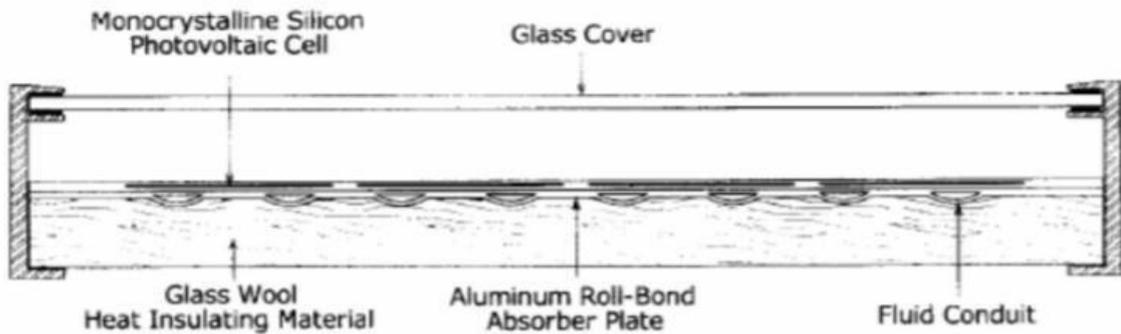


Figure (I.1) : Coupe transversale du composant hybride à eau

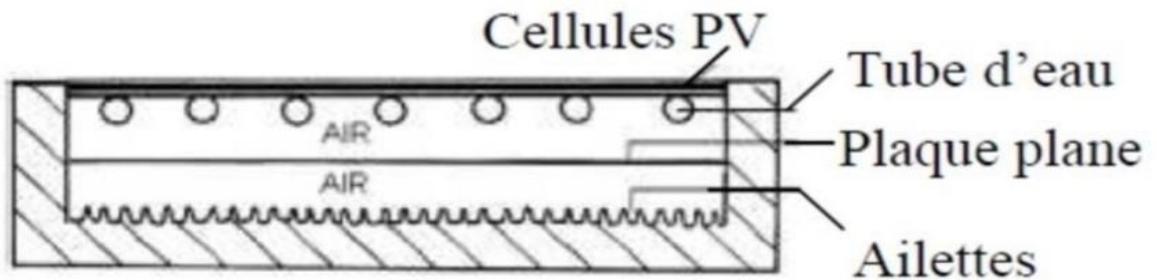


Figure (I.2) : PV/THERM à deux fluides et à fonctions superposées [9]

Selon Sandnes et Rekstad [11], un système de cellules photovoltaïques en silicium monocristallin est étudié en 2002. Ces cellules sont collées sur un absorbeur en plastique noir (polyphénylèneoxyde) en utilisant un adhésif à base de silicium de 0,5 mm. La sous-face de cet absorbeur est équipée de canaux de circulation d'eau.

En 2003, Chow étudie en régime dynamique un capteur solaire hybride PV/T à eau [12]. Son modèle est conçu pour les simulations thermiques en régime transitoire. Pour cela, il se base sur les recherches de Bergene et Lovvik [13] qui proposent en 1995 la modélisation d'une configuration similaire de capteur solaire PV/T hybride à eau.

En 2007, Fraisse et ses collègues [14] explorent un dispositif d'intégration d'un capteur solaire hybride à eau et d'un plancher solaire dans un bâtiment à Macon. Il est constitué de cellules mono et poly cristallines dans le système.

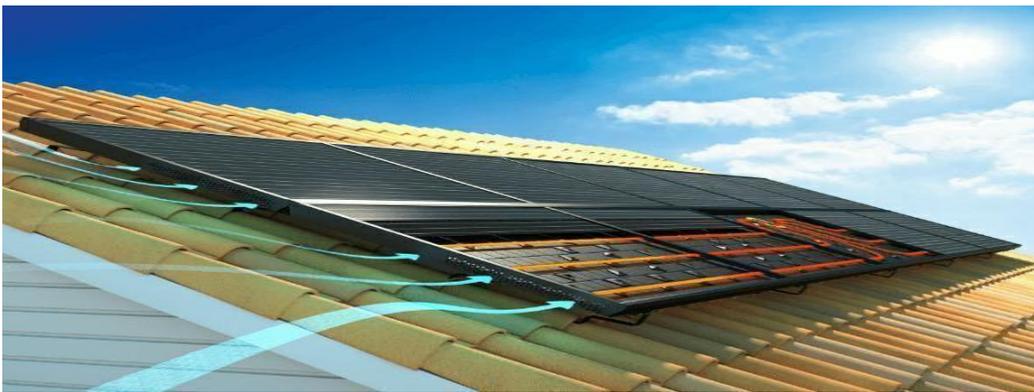


Figure (I.3) : Les capteurs solaires pvT à eau

Selon eux, le rendement électrique annuel du système hybride combiné est de 6,8 % en présence d'un vitrage, ce qui est inférieur de 28 % à celui d'un capteur solaire PV non intégré (9,4 %). Selon eux, cette diminution du rendement électrique est due à une augmentation de la température de fonctionnement des panneaux solaires photovoltaïques (qui peut atteindre 100 °C) en raison de la couverture en verre. En revanche, l'absence de vitrage entraîne un rendement électrique de 10 %, ce qui est supérieur de 6 % à celui du capteur solaire PV non intégré. En été, la température des modules PV augmente considérablement, ce qui empêche l'utilisation de l'EVA comme adhésif pour les panneaux solaires dans un composant vitré.

En outre, Fraisse et ses collègues [14] soulignent que pour ce genre de configuration, l'emploi de cellules amorphes est le plus approprié car elles sont moins sensibles aux fluctuations térmiques. Toutefois, les performances électriques obtenues sont limitées en raison du faible rendement électrique des cellules photovoltaïques amorphes (4 à 7 %) et des pertes thermiques causées par le vitrage.

Selon Chow et ses collègues [15], une étude comparative des performances d'un capteur solaire hybride à eau PV/T, d'un capteur solaire PV et d'un capteur solaire à eau a été présentée en 2007. On a développé deux prototypes de capteurs solaires hybrides, le premier ayant été développé en 2006 [16].

Le deuxième composant, plus efficace, a été développé de manière plus précise. Il s'agit d'un capteur solaire en vitre qui est constitué d'un panneau photovoltaïque en silicium cristallin, fixé à un absorbeur en métal. À l'arrière de cet absorbeur, on peut observer la soudure de tubes de circulation d'eau. Le système est relié à un réservoir horizontal de stockage. Le rendement thermique annuel moyen de ce capteur solaire hybride PV/T à eau est de 38,1 %, tandis que celui du capteur solaire à eau est de 43,2 %. En outre, l'analyse du capteur solaire hybride par rapport à un capteur solaire photovoltaïque démontre que l'utilisation de l'eau comme fluide caloporteur permet de diminuer la température de fonctionnement des modules photovoltaïques. Ainsi, le capteur solaire hybride génère une production d'énergie électrique annuelle supérieure de 2,2 % à celle du capteur solaire PV.

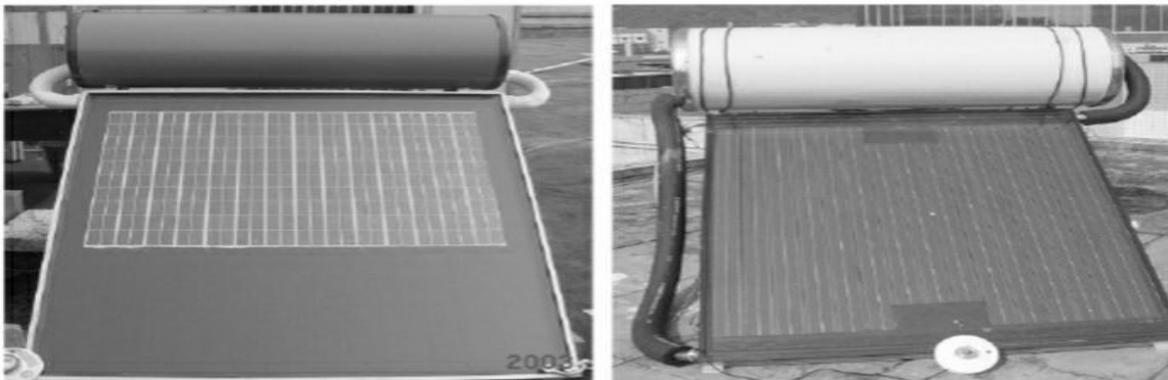


Figure (I.4) : Des capteurs à eau

Les chercheurs Astre et ses collègues [17] ont récemment réalisé, élaboré et testé les performances d'un capteur solaire hybride PV/T à eau non couvert à l'école polytechnique de Milan. En utilisant un panneau photovoltaïque composé de 30 cellules en silicium poly-cristallin, un capteur thermique nervuré en aluminium, recouvert d'un isolant thermique d'une épaisseur de 10mm, est fixé en face arrière. Le système est connecté à une cuve de stockage de 200 litres.

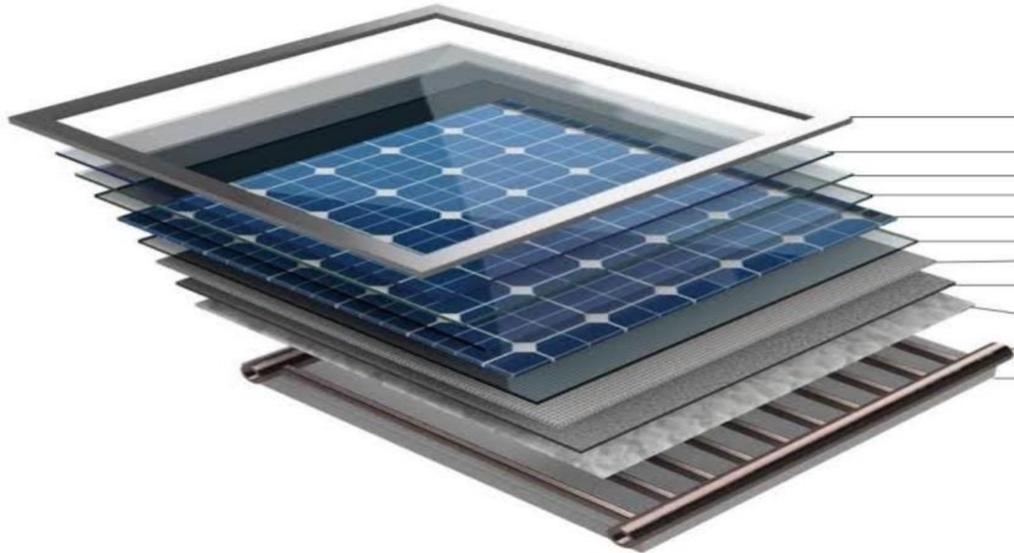


Figure (I.5) : Système hybride PVT

Depuis 2016, nous avons constaté un regain d'intérêt pour ce système hybride PVT dans la littérature

En début 2016, l'utilisation des deux fluides caloporteurs, l'eau et l'air, dans un capteur solaire hybride PVT a été confirmée. [18]

Le dispositif est conçu et mis à l'épreuve dans le laboratoire d'énergie solaire de la faculté de science et de technologie de l'Université Kebangsaan Malaysia. Le système transparent est surmonté par le générateur photovoltaïque, ce qui permet à la lumière de se diriger vers l'absorbeur sur lequel les tubes d'eau sont fixés. Le capteur est recouvert d'un isolant en fibre de verre dans son cadre. La chaleur du canal est absorbée par l'air et l'eau et convertie en énergie thermique, ce qui permet de mesurer les performances du système.

Les résultats de l'expérience ont été obtenus en utilisant une irradiation de 800W/m^2 , un débit d'air de 0.05kg/s et un débit d'eau de 0.02kg/s , avec une température de sortie de $27,40\text{C}$. Avec une puissance électrique moyenne de 145W , le rendement électrique était de 17% et le rendement thermique de 76% .

Un nouveau collecteur PVT a été créé par Jee Joe Michael et Iniyan Selvarasan en laminant directement les cellules solaires sur un absorbeur thermique en cuivre métallique. La présence de la feuille de cuivre a permis de diminuer de 9,93% la résistance thermique des cellules photovoltaïques au fluide de transfert de chaleur, ce qui a permis un transfert de chaleur efficace. [19]

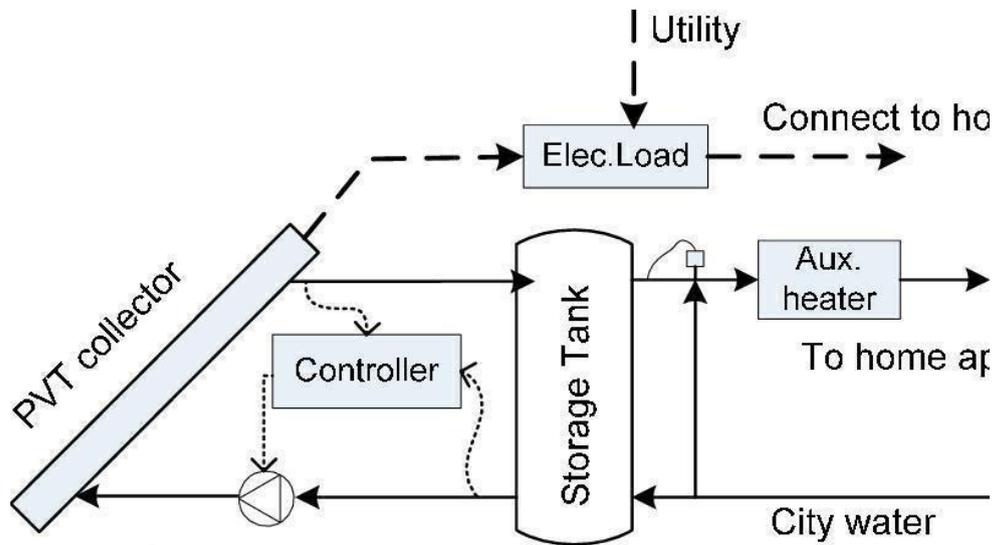


Figure (I.6) : Schéma d'architecture du système PVT. [19]

BOURAI a réalisé un projet en 2017 pour étudier et mettre en place un capteur solaire hybride photovoltaïque thermique à eau à partir de produits locaux. Il est équipé d'une architecture et d'un design novateurs afin de le rendre plus performant par rapport à ce qui a déjà été réalisé en Algérie. Les résultats démontrent clairement le succès de la réalisation, avec un refroidissement efficace, une diminution de la température de l'eau et une amélioration de la puissance électrique pour le panneau photovoltaïque. [20]

Le chauffage par effet Joule a été employé par Erkata Yandri en 2017 afin d'améliorer l'efficacité thermique du capteur solaire hybride PV/T. Des résultats ont démontré que le capteur PV/T a une efficacité thermique supérieure à celle du capteur T dans la plage inférieure du gradient d'efficacité thermique de premier ordre. [21]

Neha Dimri et ses collègues proposent un modèle thermique de capteur hybride semi-transparent avec refroidisseur thermoélectrique (PV/T-TEC). Les résultats du modèle révèlent que le rendement électrique de celui-ci est supérieur à celui du générateur semi-transparent GPV et du générateur semi-transparent avec refroidisseur thermoélectrique GPV-TEC, avec respectivement 7.266 et 4.723%. [22]

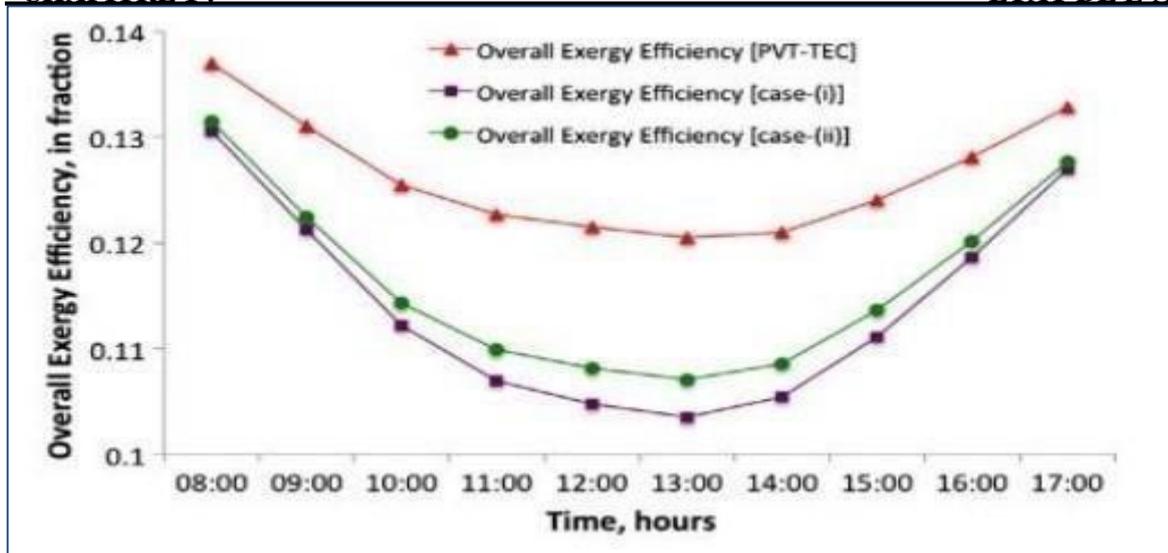


Figure (I.7) : Variation horaire d'une efficacité exégétique globale pour capteur hybride semi-transparent

Avec refroidisseur thermoélectrique (PVT-TEC) proposé, le générateur semi-transparent GPV [case-(i)] et le générateur semi-transparent avec refroidisseur thermoélectrique GPVTEC [case-(ii)]. [22]

En 2018, Jiajun Cen et ses collègues [6] exposent un modèle expérimental et théorique. Dans cette expérience, on utilise trois catégories de panneaux solaires. On a prouvé que le dispositif peut fournir de l'eau chaude à une température de 80°C à une famille de quatre personnes, tout en générant un surplus d'électricité pour les besoins domestiques.

La même année, Jicheng Zhou a réalisé des expérimentations et des simulations à l'aide de TRNSYS sur un collecteur hybride PVT pour étudier l'impact de divers facteurs sur la distribution de température, tels que l'espacement des tubes, les matériaux de l'absorbeur, la vitesse d'entrée et l'organisation des rangées de tubes. Les résultats de performance indiquent que les moyens les plus efficaces pour améliorer l'uniformité de la distribution de température sont la réduction de l'espacement des tubes et l'utilisation des matériaux d'absorbeur [23]

Les résultats de l'étude de Neha Dimri et al., en 2019, qui propose un modèle thermique en prenant en compte trois types de modules photovoltaïques, opaques, semi-transparents et à base d'aluminium, sont comparés entre eux et montrent que le gain énergétique électrique global quotidien, le taux quotidien de gain énergétique thermique et le gain exégétique global quotidien sont les plus élevés pour [cas 3] le collecteur d'eau PVT-TEC contenant de l'aluminium [24]

B. BOUMAARAF et al. [25] ont présenté en 2020 une étude comparative entre un GPV et un capteur solaire hybride PV/T vitré. Deux modèles numériques ont été élaborés et évalués à l'aide d'une simulation sous Matlab, le GPV a été validé expérimentalement et des évaluations de la performance électrique et thermique des deux systèmes ont été réalisées dans les conditions climatiques réelles de la ville de Ghardaïa.

Les performances électriques du GPV et du capteur solaire hybride PV/T vitré est respectivement de 7% et 6,26%, tandis que les performances thermiques globales sont de 18,43% et 74,2% pour les deux systèmes. Thermiques globales pour le GPV et le capteur hybride PV/T vitré. [25]

On prend en compte l'environnement de simulation avec un débit massique de 0,0125kg/s. Les histogrammes comparatifs quotidiens moyens des rendements électriques, thermiques et thermiques globales pour le GPV et le capteur hybride PV/T vitré sont présentés dans la figure. [26]

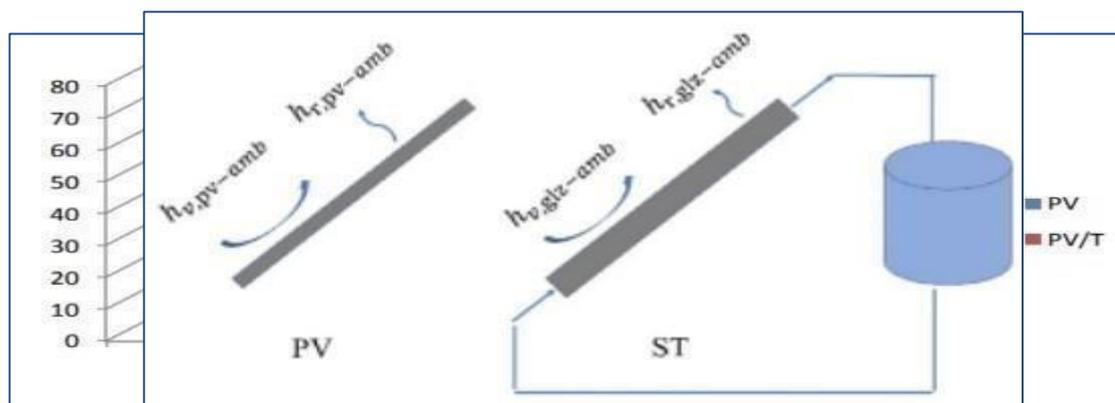


Figure (I. 8) : Histogrammes comparatifs quotidiens moyens des rendements électriques, thermiques

En 2021, H. ZHONGHE et ses collègues ont mené une étude qui compare les performances électriques et thermiques des systèmes PVT-ST (Photovoltaïque Thermique à Concentration Solaires) et PV-ST (Photovoltaïque à Concentration Solaires). En effet, cette étude démontre que l'efficacité thermique et électrique du système PVST est supérieure à celle du système PV-ST en conditions de température ambiante. Cela rend le PV-ST un système avec une portée d'utilisation plus étendue. [27]

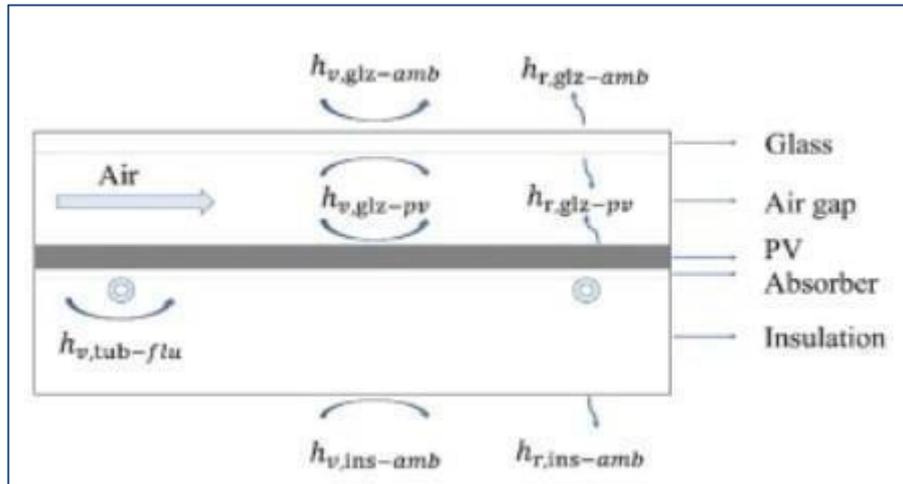


Figure (I.9) : Schéma d'agrammatique du processus de transfert d'énergie PVT.

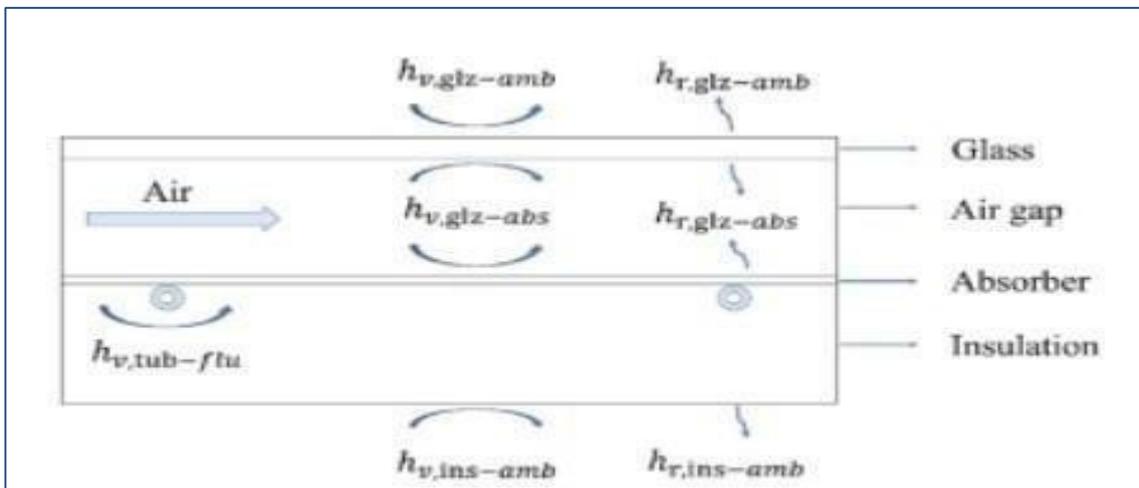


Figure (I.10) : Diagramme simplifié du processus de transfert d'énergie ST.

Les résultats se présentent comme suit :

- ✓ En conservant une surface totale et une génération d'électricité équivalentes, plus la température ambiante (T_a) est faible et plus la température de l'eau d'entrée (T_i) est élevée, plus la température de sortie de l'eau du système PV-ST est plus élevée que celle du système PVT-ST. En d'autres termes, le système PV-ST offre plus de bénéfices. Les bénéfices du système PVST sont plus visibles lorsque la température ambiante est inférieure à $15\text{ }^\circ\text{C}$ et que la température de l'eau d'entrée est supérieure à $45\text{ }^\circ\text{C}$. Le système PVT-ST offre plus d'avantages lorsque la température ambiante dépasse $30\text{ }^\circ\text{C}$ et que la température de l'eau d'entrée est inférieure à $40\text{ }^\circ\text{C}$.
- ✓ En augmentant le rayonnement solaire, le système PVT-ST peut fournir de l'eau chaude à une température supérieure à celle du système PV-ST. En d'autres termes, lorsqu'il y a une forte exposition au soleil,

Le système PVT-ST offre davantage d'avantages, mais cet avantage diminuera progressivement à mesure que la température de l'eau d'entrée augmente.

- ✓ Au fur et à mesure que la température ambiante et la température de l'eau d'entrée augmentent, l'effet de refroidissement du panneau solaires photovoltaïques diminue et la production d'électricité diminue. À mesure que l'intensité du rayonnement solaire augmente, l'énergie solaire est absorbée et la puissance produite augmente.

En 2022, Hussein A. KAZEM et ses collègues examinent l'influence de la poussière sur le système photovoltaïque-thermique dans des conditions météorologiques difficiles.

Cette recherche a étudié l'influence de la poussière sur les systèmes PVT pour diverses configurations d'écoulement. Le but était de mesurer l'impact de l'accumulation de poussière sur les performances électriques et thermiques d'un système PVT.

Afin de garantir la fiabilité du système dans des conditions météorologiques extrêmes, cette étude a été menée dans la région de Sohar, Oman. Deux collecteurs à écoulement en spirale et un système PV traditionnel ont été installés et testés, afin d'évaluer leur capacité à résister à la poussière.

Ils ont effectué une étude sur les performances du PVT pendant deux mois (juillet et août 2021), puis ont comparé les résultats avec ceux du système PV autonome en utilisant une accumulation de poussière. Ensuite, ils ont effectué des calculs, évalués et échangé sur l'influence de la poussière sur les performances électriques et thermiques. Les résultats ont été confrontés à d'autres recherches similaires concernant les systèmes PV classiques, car il n'existe pas encore de recherche approfondie sur les systèmes PVT dans ce domaine. [28]

En 2023, Azzedine TOUTI et ses collègues [29] se sont focalisés sur la création d'un prototype surprenant de collecteur d'air PVT. Après avoir examiné attentivement divers prototypes à travers des études expérimentales et numériques, cette conception a été développée. Le but principal consiste à optimiser les performances thermiques et électriques du collecteur d'air PVT mis au point. On a réalisé une simulation numérique en utilisant COMSOL Multiphysics afin d'analyser les propriétés électriques et thermiques du système.

Une amélioration des performances électriques et thermiques a été confirmée par les résultats des tests expérimentaux. En effet, une augmentation significative du nombre de conduits d'air entraîne une augmentation de l'efficacité thermique. Effectivement, les résultats des expériences ont confirmé une amélioration des performances électriques et thermiques. Par exemple, le PVT-1 ($n_f = 0$) a enregistré une augmentation de l'efficacité thermique moyenne maximale de 30,87% à 53,88% avec le PVT-5 ($n_f = 44$).

De la même manière, le prototype PVT-1 avec des tubes carrés a enregistré une température maximale moyenne de 53,37N°C, tandis que le prototype PVT-6 avec 55 tubes a enregistré une température minimale de 42,7 °C. On a également amélioré les performances électriques, avec une hausse de la puissance électrique de 115,05 W (PVT-1) à 121,47 W (PVT-6). De cette façon, l'efficacité électrique a été renforcée en refroidissant le module PV. W (PVT-6). De cette manière, l'efficacité électrique a été renforcée en refroidissant le module. Selon les résultats, le PVT-5 constitué de 44 tubes carrés offre une efficacité globale maximale de 58,48%. En résumé, ce prototype présente des opportunités de production pour différentes applications, telles que les séchoirs alimentaires et la génération d'électricité dans les régions rurales où l'accès à l'électricité est restreint.

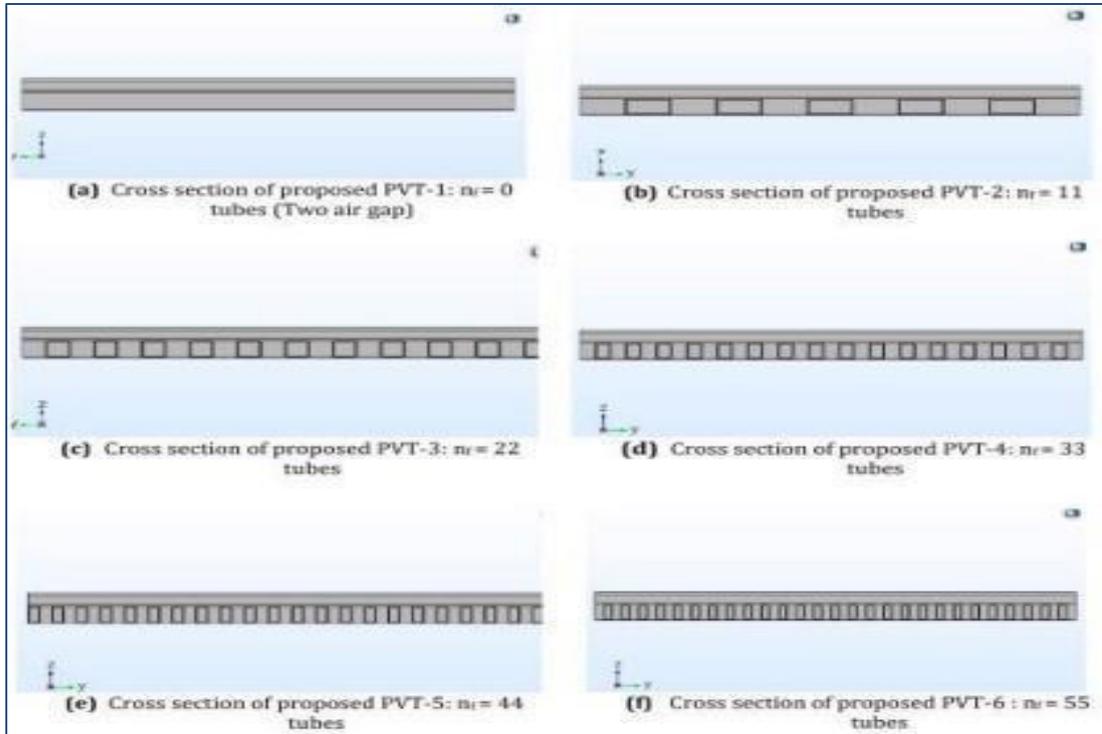


Figure (I.11) : Vue schématique de la section transversale du PVT nouvellement conçu. (29)

Chapitre II : les capteurs à air

II .1. Introduction :

Le capteur solaire joue un rôle essentiel dans la majorité des systèmes solaires. Il s'agit d'un appareil destiné à capter l'énergie solaire et à la transmettre à un fluide caloporteur. Les chercheurs à travers le monde ont mené de nombreuses études visant à améliorer les performances des capteurs, avec pour objectif principal de recueillir le plus d'énergie solaire possible. Dans ce chapitre, nous allons exposer les divers capteurs employés ainsi que les paramètres et caractéristiques du capteur solaire plan à air utilisé pour produire de l'eau chaude sanitaire, chauffer les locaux ou sécher.

II .2. Énergie solaire :

L'énergie renouvelable de ce genre provient directement de la collecte du rayonnement solaire. Des capteurs particuliers sont utilisés pour capter l'énergie des rayons solaires et la rediffuser selon deux principaux modes de fonctionnement :

Le système solaire photovoltaïque (panneaux solaires photovoltaïques) utilise l'énergie solaire pour générer de l'électricité.

Le solaire thermique consiste à capter et à rediffuser la chaleur des rayons solaires, en utilisant des capteurs solaires thermiques. Différents types de capteurs thermiques existent, dont le principal objectif est de transformer les rayons solaires qu'ils reçoivent en chaleur exploitable. Parmi eux, on mentionne :

II .3. Les types des capteurs solaires :

II .3.1. Les capteurs plans non vitrés :

Il s'agit de capteurs simples qui peuvent être utilisés pour le chauffage des piscines et l'eau chaude sanitaire, ils sont peu sensibles à l'angle d'incidence du rayonnement.

[32]

II .3.2. Les capteurs avec des plans vitrés :

Il est possible d'incorporer ce genre de capteurs dans l'architecture des bâtiments, avec des températures de fonctionnement qui correspondent aux températures de production de chauffage et d'eau chaude sanitaire lorsque les besoins sont plus élevés.

II .3.3. Le capteur sous vide à tubes :

Il offre la possibilité de répondre aux applications qui exigent des niveaux de température plus élevés. Il est utilisé dans différents domaines, notamment pour le chauffage et la production d'eau chaude sanitaire, ainsi que dans les logements individuels et Collectifs. [30]

II .3.4. Le capteur cylindroparabolique :

Est utilisé. Des surfaces réfléchissantes (miroirs) paraboliques ou cylindro Paraboliques sont utilisées par les concentrateurs solaires afin de concentrer les rayons solaires dans le foyer ponctuel ou dans le foyer linéaire de ces surfaces. Les récepteurs (absorbeurs) sont situés dans le foyer ponctuel ou le long du foyer linéaire, où la chaleur solaire est concentrée. Bien sûr, ces concentrateurs doivent être en phase avec le mouvement du soleil.

II .3.5. Le capteur de CPC :

Le capteur plan ou à tubes sous vide CPC (Compound Parabolique Concentrateur) est équipé d'un réflecteur appelé "concentrateur à segments paraboliques". Les réflecteurs CPC présentent une structure géométrique qui permet à l'absorbeur d'atteindre le rayonnement solaire direct et diffus, car la surface de l'absorbeur est cylindrique et couvre l'intégralité de la surface du tube intérieur. De cette manière, la zone exposée au soleil peut absorber le rayonnement direct tandis que la zone dis- simulée peut absorber le rayonnement par réflexion.

Dans le monde entier, les capteurs plans sont largement adoptés en raison de leur simplicité et de leur coût abordable par rapport aux autres types de capteurs.

Deux catégories de capteurs plans existent :

Les capteurs à eau qui utilisent l'eau comme fluide caloporteur les capteurs à air qui utilisent l'air comme fluide caloporteur.

Étant donné que l'air est un fluide caloporteur moins efficace que l'eau, les capteurs à air demeurent toujours d'une grande importance en raison de leurs nombreux avantages et de leurs diverses applications telles que le séchage, le chauffage et la climatisation des locaux.

Le capteur solaire a air :

À la différence du capteur à eau où le liquide se déplace dans les tuyaux, le conduit d'air est généralement constitué de l'espace entre la couverture et l'absorbeur. Comme pour le capteur à eau, il est possible d'avoir un écoulement forcé ou naturel. L'air a un coefficient de transfert de chaleur à peu près de deux ordres de grandeur inférieur à celui de l'eau.



Figure (II – 1) : Capteur solaire a air [40]

II .4. Fonctionnement d'un capteur solaire air :

Le capteur solaire est considéré comme un composant indispensable pour la captation et la transformation de l'énergie. Il utilise l'effet de serre où le rayonnement est capté dans le domaine du visible (longueurs d'onde compris entre 0,3 et 3 μm), il traverse la vitre et est retenu à l'intérieur où il est absorbé par la surface absorbante. Le rayonnement thermique émis par l'absorbeur se situe dans un domaine de l'infrarouge éloigné du visible (de 4 à 30 μm). La paroi du verre, qui s'échauffe, empêche partiellement ce rayonnement de se propager vers la surface absorbante. Grâce à ce cycle interactif, il est possible d'augmenter la température de la couverture transparente et de l'absorbeur. Le fluide caloporteur peut absorber une partie de cette énergie absorbée grâce à un échange par convection, ce qui contribue à l'augmentation de température.

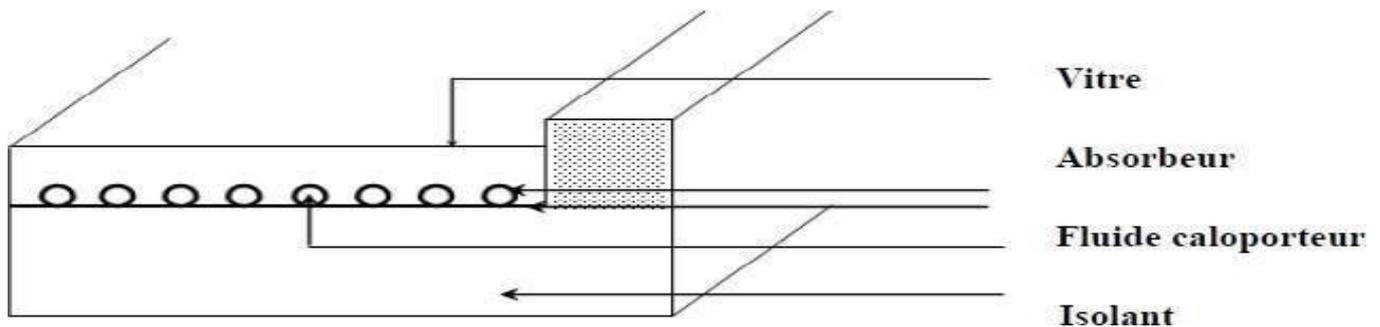


Figure (II – 2) : Une coupe sur capteur solaire plan
[31]

II .5. Les éléments constitutants du capteur à air :

II .5.1. Absorbeur :

Son rôle consiste à capter le rayonnement solaire incident, à le transformer en chaleur et à la transmettre à un fluide caloporteur, tout en réduisant les pertes. En règle générale, l'absorbeur consiste en une plaque en métal plane dont la surface qui s'ouvre sur le soleil doit avoir un coefficient d'absorption le plus élevé disponible. Les coefficients les plus favorables sont d'environ 0,95. Les fonctions de l'absorbeur sont les suivantes. [35] Capturer les parties les plus importantes du rayonnement incident. La chaleur générée par cette absorption est transmise vers le fluide caloporteur.

Tableau (II -1) : Propriétés des matériaux pour le choix de l'absorbeur [4]

Métal	Conductivité thermique (w/m.K)	Chaleur massique (j/kg.k)	Masse volumique (kg/m ³)	Diffusivité (10 ⁻⁶ m ² /s)
Cuivre	334	398	89	108
Acier inoxydable	14	460	78	4
Aluminium	204	879	27	86

II .5.2. Couverture transparente :

La protection mécanique de l'absorbeur est assurée par la couverture, mais elle joue

Également un rôle crucial dans le bilan thermique en diminuant la chaleur des :

L'importance des échanges convectifs dépend de l'épaisseur de la lame d'air ou du gaz entre l'espace couverture-absorbeur. [34]

L'effet de serre permet de créer des échanges radiatifs, ce qui signifie une bonne transparence et une transmission faible du

Rayonnement infrarouge par l'absorbeur. Il est essentiel que la couverture soit robuste face aux chocs, aux fluctuations brusques de température et aux températures élevées.

Il est nécessaire que sa mise en place soit simple et qu'elle présente un faible coefficient de dilatation et de flexibilité.

Tableau (II -2) : Propriétés des matériaux du vitrage [30]

Matériaux	Facteur de transmission solaire (%)	Masse volumique (kg/m ³)	Chaleur massique (j/kg.k)	Conductivité thermique (w/m.K)	Dilatation thermique (10 ⁻⁵ k ⁻¹)
Verre	85-92	2700	840	0.93	0.9
Polycarbonate	82-89	1200	1260	0.2	6.6
Poly méthacrylate	89-92	1200	1460	0.2	7
Polyester armé	77-90	1400	1050	0.21	3.5
Poly téréphtalate éthylène	84	1.38	1170	0.25	7
Polyfluoréthnopoyle ne	97	2.15	1170	0.25	10
Polyflurure vinyle	93	1.5	1380	0.12	4

II .5.3. Le fluide caloporteur :

Afin de libérer la chaleur stockée par la surface absorbante, on utilise généralement soit l'air, soit l'eau. En raison des conditions Climatiques, on utilise également des mélanges d'eau glycol qui ont une chaleur spécifique inférieure à celle de l'eau pure. Quant à l'eau, l'air ne présente aucun souci de gel pendant l'hiver ou d'ébullition pendant la saison estivale. En été, il ne présente aucun Problème de corrosion. Cependant, l'air n'est utilisable que pour chauffer les locaux et les transferts thermiques sont moins efficaces que ceux de l'eau. En revanche, quelle que soit la méthode utilisée, il est essentiel que le contact entre les tuyaux transportant le fluide et la plaque absorbante soit très intime, que ce soit par emboutissage ou par soudure. De la même manière, il sera nécessaire de calculer de manière précise l'espacement entre les tuyaux en prenant en compte le diamètre du tuyau, l'épaisseur de la plaque et les matériaux utilisés. Il est préférable de placer les tuyaux de circulation du fluide en contact avec l'absorbeur en parallèle plutôt qu'en serpentin.

II .5.4. L'isolation thermique :

Il est essentiel que l'absorbeur transfère l'énergie captée au fluide caloporteur en évitant les pertes thermiques par conduction, convection et rayonnement, des parties périphériques vers l'extérieur. Les options appropriées comprennent les suivantes : La partie antérieure de l'absorbeur La lame d'air qui se trouve entre la vitre et l'absorbeur joue le rôle d'un isolant contre la conduction thermique. Toutefois, lorsque l'épaisseur de cette lame est excessive, une convection naturelle se produit, ce qui entraîne une perte d'énergie. Lorsque le capteur plan fonctionne à des températures normales, l'épaisseur de la lame d'air est de 2,5 cm. En installant deux vitres, les pertes liées à la réémission sont réduites, tout comme les pertes liées à la conduction et à la convection [31] Côtés postérieur et latéral Pour réduire les pertes thermiques à la périphérie du capteur, il est possible d'appliquer une ou plusieurs couches d'isolants qui doivent être résistants et ne pas se décomposer à des températures élevées. Sinon, il est prévu d'observer un dépôt sur la face interne de la couverture. Outre l'utilisation d'un isolant afin de réduire les pertes thermiques, il est possible D'augmenter la résistance de contact entre la plaque, l'isolant et le coffre en évitant de les presser les uns contre les autres. En effet, en cas de forte rugosité, il peut y avoir un film d'air entre les deux faces en contact, ce qui empêche la chaleur de passer facilement par conduction. Le matériau à utiliser est déterminé par : [30]

1. Sa capacité à résister aux températures de fonctionnement.
2. La durabilité de ces caractéristiques au fil du temps (fluidité thermique).
3. La capacité à résister aux chocs, à l'humidité, au feu, à l'eau de pluie... etc.

Tableau (II -3) : Propriétés des matériaux de l'isolation [30]

Matériaux	Conductivité thermique (w/m.K)	Mass Volumique (kg/m3)	Chaleur massique (j/kg.K)	Diffusivité (10-6 m2/s)
Air (à 20°C)	0.025	1.2	1003	208
Mousse de Polyuréthane	0.029	30	1600	6
Laine de verre	0.036	40	840	10.7
Polystyrène Expansé	0.040	20	1500	13.3
Papier journal comprimé	0.105	130	1340	6
Bois de pain	0.318	500	1210	1.95
Plâtre	0.35	800	800	5.5

. II .5.5. Le coffre :

Le coffre est fabriqué couramment en aluminium ou en bois, enferme l'absorbeur et l'isolation thermique du capteur, les protégeant ainsi contre l'humidité et les détériorations mécaniques. [33]

II .6. Types des capteurs solaires à air :

On peut répartir les types des capteurs solaires plans à air en 3 grandes classes :

- Les capteurs à absorbeur plan
- Les capteurs à absorbeur perméable ;
- Les capteurs à absorbeur à géométrie variable.

II .6.1. Capteurs à absorbeur plan :

L'absorbeur est une tôle plane. Plusieurs types d'écoulement d'air sont envisageables dans ce genre de capteur [38]

- Écoulement au-dessus de l'absorbeur,
- Écoulement en dessous de l'absorbeur,
- Écoulement des deux côtés de l'absorbeur (multi passes).

II .6.2. Les capteurs à absorbeur perméable :

Ce type de capteur utilise une matrice perméable comme absorbeur. Ainsi, l'énergie solaire qui pénètre dans la masse de l'absorbeur est absorbée. Le capteur à absorbeur perméable est toujours composé d'un caisson isolé. L'air pénètre dans l'espace vitre absorbeur à l'intérieur de ce type de capteur, où il se réchauffe par convection sous le vitrage. Ensuite, la matrice absorbante est toujours chauffée par le passage de l'air [39]

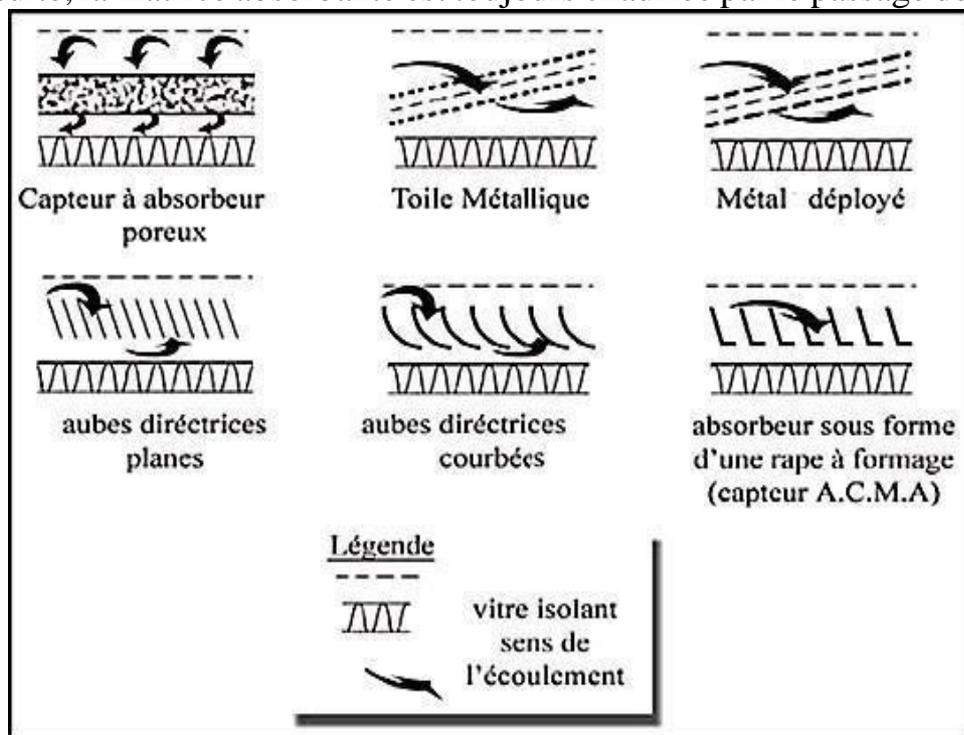


Figure (II-3) : Types d'absorbeur perméable

II .6.3. Capteurs à absorbeur à géométrie variable :

Ces capteurs sont disponibles dans différentes formes, l'idée principale est de manipuler la géométrie de l'absorbeur afin d'accroître la surface d'échange [39]

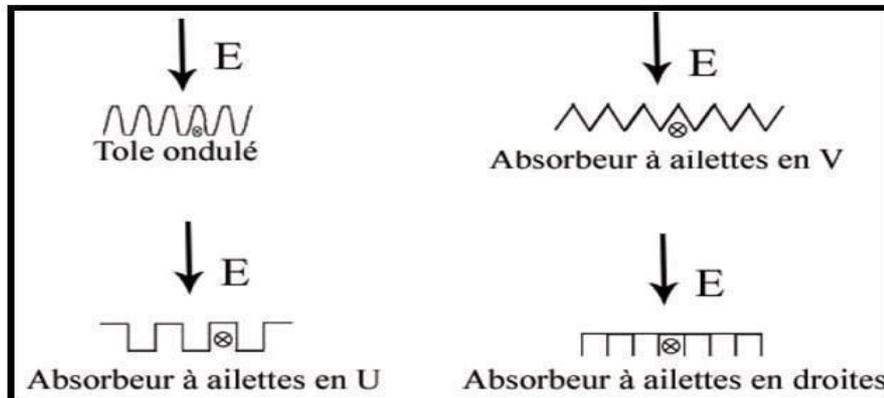


Figure (II-4) : Principales géométries d'absorbeur

II .6. Applications des capteurs solaires plans à air :

L'énergie solaire collectée par des capteurs solaires plans à air est utilisée de différentes manières. Parmi les plus fréquents, on retrouve le chauffage, la climatisation, le séchage, la production d'énergie mécanique, etc.

II .6.1. Chauffages et climatisation des habitations

Le principe est présenté sur la Figure 12, consiste à chauffer le fluide dans le capteur solaire, l'air est véhiculé par le ventilateur vers des points d'utilisations.

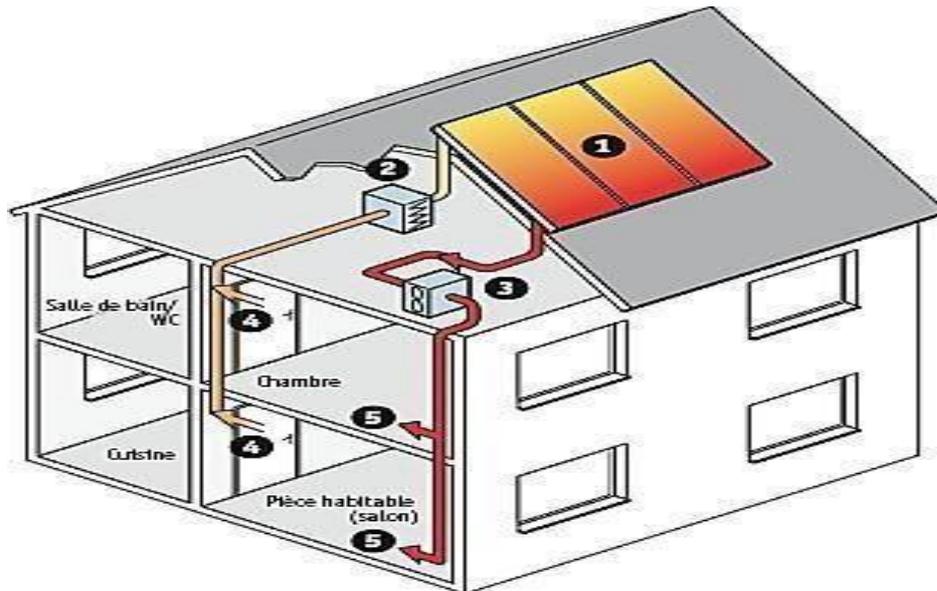


Figure (II-5) : Chauffages et climatisation des habitations

-1 Capteur solaire plan à air 2- Filtre 3- Ventilateur 4- Entrées d'air. 5- Sorties d'air

Le capteur solaire à air s'intègre de manière modulaire dans l'habitat et complète les systèmes de chauffage déjà en place. Il offre la possibilité de faire des économies importantes d'énergie et d'améliorer le bilan thermique des bâtiments pendant l'hiver et la maison en fournissant une source de chauffage supplémentaire. En régulant, l'air des locaux circule à travers le panneau dès que la température interne du panneau est suffisamment élevée pour obtenir un gain important.

II .6.2. Séchage :

Le séchage est une technique d'évaporation utilisée pour extraire de l'eau d'un solide, d'un semi-solide ou d'un liquide. Ce travail nécessite une source de chaleur. Différentes techniques sont disponibles pour sécher et conserver nos produits. Le séchage sur sol est le mode de séchage le plus utilisé dans les pays en développement pour la conservation des produits alimentaires (céréales, légumes, viande, poisson, etc.). Le taux de séchage est influencé par des éléments extérieurs tels que le rayonnement solaire, la température ambiante, la vitesse du vent et l'humidité relative, ainsi que par des éléments internes tels que la teneur en eau initiale, le type de produits et la masse du produit par unité de surface d'exposition.

Le séchage a pour but de diminuer la teneur en eau des produits agroalimentaires jusqu'à atteindre des niveaux résiduels qui réduisent la croissance des micro-organismes et permettent de les conserver dans des conditions ambiantes. Le développement scientifique et technologique a permis de diversifier et de mettre en œuvre différentes techniques de séchage et différents séchoirs [36,37]. Les capteurs solaires à air sont idéaux pour sécher les récoltes de thé, de café, de fruits, de fèves, de riz, d'épices, de Caoutchouc, de cacao et de bois.

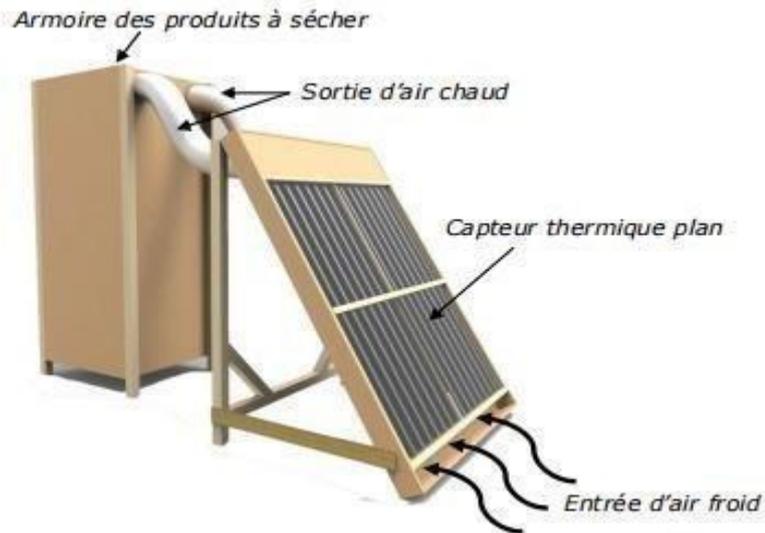


Figure (II -6) : Séchage solaire [36,37]

II .6.3. Production de l'énergie mécanique :

La construction d'installations à partir d'une machine solaire est très intéressante, dans les pays arides ou dans les régions isolées, soit pour pomper l'eau, soit pour produire de l'électricité. L'utilisation d'un moteur à air chaud consiste à comprimer l'air de l'atmosphère dans un cylindre par un piston et à le chauffer par un capteur à air. L'air chauffé pousse le piston en se détendant. Après son retour, il comprime l'air, dont le reste de chaleur est évacué vers une source froide ; et ainsi de suite sans cesse.

II .7. Conclusion :

Dans ce chapitre, on a exposé les divers capteurs employés ainsi que les paramètres et caractéristiques du capteur solaire plan à air utilisé pour produire de l'eau chaude sanitaire, chauffer les locaux ou sécher.

CHAPITRE III : l'énergie photovoltaïque

III.1. Introduction :

Une partie du rayonnement solaire est transformée directement en énergie électrique par l'énergie solaire photovoltaïque. Une cellule photovoltaïque (PV) est utilisée pour convertir cette énergie, en utilisant un phénomène physique appelé effet photovoltaïque. Cette force électromotrice est produite lorsque la surface de cette cellule est exposée à la lumière. Il se sert de cellules pour fabriquer des modules photovoltaïques. Ces panneaux solaires sont composés de semi-conducteurs tels que le silicium (Si), le germanium (Ge), le sélénium (Se), et bien d'autres encore. Actuellement, le silicium est le matériau le plus couramment employé dans la production de cellules photovoltaïques, car il est très répandu dans la nature. Selon le matériau utilisé pour la fabrication de la cellule, la tension produite peut fluctuer [42]

III.2. Effet photoélectrique :

On appelle photoélectrique un matériau, généralement métallique, qui émet des électrons lorsqu'il est exposé à un rayonnement électromagnétique (rayonnement infrarouge, lumière visible, ultraviolet) de fréquence suffisamment élevée dépendant du matériau expliqué pour la première fois par le physicien allemand Heinrich Rudolf Hertz, en 1887. Cependant, la physique classique, qui considère la lumière comme une onde, ne permet pas de rendre compte correctement de l'effet photoélectrique et c'est Albert Einstein qui a donné une explication plus exhaustive en 1905 dans son hypothèse de quantification du rayonnement [53]

Quand des photons sont en contact avec un matériau, les électrons les captent. Lorsque l'énergie spécifique des photons – qui est proportionnelle à leur fréquence – dépasse l'énergie de liaison des électrons, ceux-ci sont éjectés. De cette manière, l'augmentation de l'intensité de la lumière émise ne crée pas l'effet photoélectrique. En effet, l'intensité de la lumière n'influence pas la fréquence des photons. D'autre part, après l'apparition de l'effet photoélectrique, le courant – le nombre de photoélectrons émis par unité de temps – est inversement proportionnel à l'intensité de la lumière incidente. L'impact photovoltaïque est aussi l'une des formes de l'impact photoélectrique.

III.3. La cellule photovoltaïque :

La cellule photovoltaïque est l'élément le plus petit d'une installation solaire. La structure est constituée de matériaux semi-conducteurs de type P-N qui génèrent un courant électrique en réaction avec les photons lumineux. Cette évolution repose sur

Les trois processus suivants :

1. Le matériau qui forme le dispositif absorbe les photons
2. L'énergie du photon est convertie en énergie électrique, ce qui entraîne la formation de paires d'électrons/trous dans le matériau semi-conducteur
3. La collecte des particules produites dans le dispositif.

III.4. Historique de la cellule photovoltaïque :

L'histoire du photovoltaïque commence en 1839 avec la première expérience d'un Effet photoélectrique par le physicien Antoine BECQUEREL et son fils Alexandre ED- MOND. Grâce à leur expérience, il est possible de voir comment les électrodes Immergées dans un liquide évoluent sous l'effet d'un éclairage. [54] - En 1875, Werner Von SIEMENS présente un article à l'académie des sciences de Berlin sur l'impact photovoltaïque sur les semi-conducteurs. Dès 1954, Albert EINSTEIN a réalisé que l'énergie de la lumière était transportée par des particules connues sous le nom de Photons. C'est aussi à cette époque qu'a été développée la première cellule photovoltaïque avec un rendement satisfaisant. - En 1958, on a développé une cellule photovoltaïque avec un rendement de 9%. La même année, les premiers satellites utilisant des cellules solaires ont été lancés dans l'espace. Et la première maison équipée de panneaux solaires. [55]. - La première voiture alimentée par énergie photovoltaïque est construite à l'université de Delaware en 1973 et parcourt une distance de 4 000 km en Australie en 1983. Finalement, en 2013, les premiers nano-satellites polonais de la constellation BRITEL, "LEM" et "HEWELIUSZ », [56]

III.5. Principe de fonctionnement de la cellule PV :

On construit une cellule photovoltaïque en utilisant deux couches de silicium, l'une dopée au bore et l'autre dopée au phosphore, ce qui forme une jonction PN avec une barrière de potentiel. Quand le semi-conducteur absorbe les photons, ils transmettent leur énergie aux atomes de la jonction PN, ce qui entraîne la libération des électrons de ces atomes et la formation d'électrons (charges N) et de trous (charges P). Cela génère ainsi une disparité de potentiel entre les deux niveaux. Il est possible d'évaluer cette disparité de potentiel en comparant les connexions des bornes positives et négatives de la cellule.

En utilisant une charge continue, il est également possible de collecter des porteurs. La cellule peut atteindre une tension maximale d'environ 0,6 V pour un courant nul. On appelle cette tension tension de circuit ouvert (VOC). Le courant maximal généré lors de la court-circuitations des bornes de la cellule est connu sous le nom de courant de court-circuit (ICC) [50]

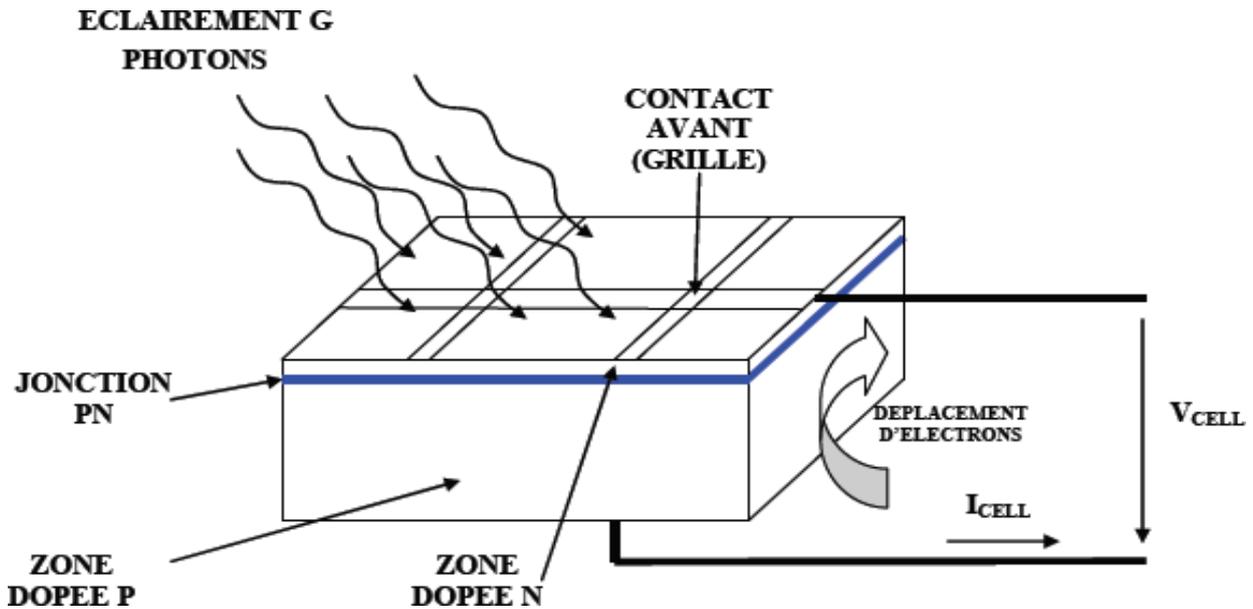


Figure (III .1) : Structure schématique d'une cellule solaire

III.6. Différentes structures des cellules PV :

Différents matériaux et structures sont employés afin d'améliorer les performances des cellules photovoltaïques et d'accroître leur rendement. Les cellules solaires sont classées en fonction de leurs structures : cellules solaires à couche mince, cellules solaires organiques et cellules solaires au silicium. Nous ne présenterons que ces dernières citées, puisqu'elles sont les plus communes.

III.6.1. Les cellules solaires au silicium :

Le silicium constitue la substance principale des photopiles. Il est le second élément le plus abondant sur notre planète (après l'oxygène), mais il n'est pas présent à l'état pur dans la nature (le sable et le quartz en renferment). Trois principales catégories de photopile au silicium existent :

III.6.2. Le silicium monocristallin :

Actuellement, c'est la solution la plus appréciée pour les cellules commerciales, même si de nombreux autres matériaux sont abordables. Leur procédé de fabrication est exigeant et délicat, ce qui entraîne une coûteuse production. Son rendement est très élevé (12 à 16%, allant jusqu'à 24 % en laboratoire). Le concept de "cristallin" signifie que tous les atomes présents dans le matériau PV actif sont inclus dans une structure cristalline simple, sans aucune perturbation dans les arrangements ordonnés des atomes [41], [43]

III.6.3. Le silicium poly cristallin :

Il est constitué de petits cristaux de silicium. Il présente un coût de fabrication inférieur. La performance de la conversion photovoltaïque d'une cellule en silicium poly cristallin varie de 11 à 13 % (environ 18 % en laboratoire) [43]

III.6.4. Le silicium amorphe :

Les cellules amorphes sont couramment employées lorsque l'on recherche une solution économique ou lorsque l'électricité est très faible, comme pour alimenter des montres, des calculatrices ou des luminaires de secours. Elles ont un coefficient d'absorption élevé, ce qui permet de très faibles épaisseurs, d'environ un micron. En revanche, sa capacité à convertir est comprise entre 8 et 10 % (environ 13% en laboratoire pour une cellule non dégradée) [41], [43]

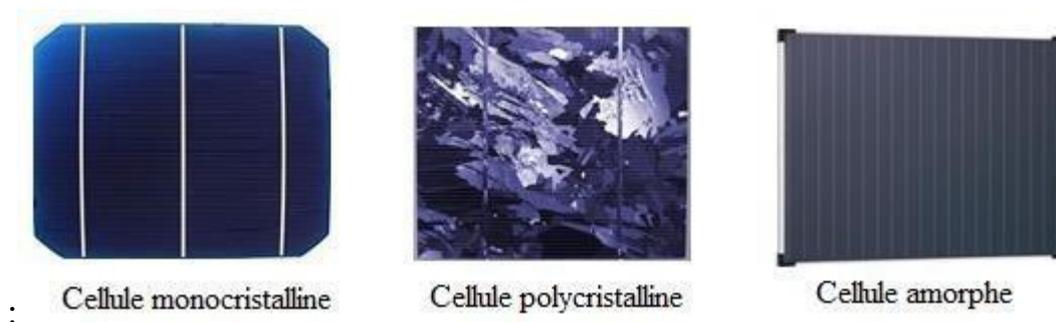


Figure (III.2) : Types de cellules solaires

III.6.5. Pérovskites :

Les cellules pérovskites sont des cellules hybrides organiques qui utilisent des polymères ou des molécules organiques comme matériau actif [57], et inorganiques avec une structure similaire à celle d'une pérovskite.

L'introduction de ces cellules remonte à l'année 2000 et leur efficacité est de 3,8 %. Le rendement a augmenté de 22,1 % depuis 2016, ce qui en fait une option intéressante ! Les coûts de production ne sont pas élevés.

Actuellement, le principal obstacle à ces technologies réside dans la stabilité de leurs performances et

Leur durée de vie (environ 1000 heures). [58]

III.6.6. Arséniure de gallium (GaAs) :

Le gallium et l'arsenic sont classés dans les colonnes III et V du tableau de classification périodique des éléments, ce qui en fait un semi-conducteur classé « III et V ». On le retrouve fréquemment dans différents secteurs, tels que l'industrie électronique et la technologie des

Cellules solaires. L'arséniure de gallium possède certaines caractéristiques électriques telles que :

1. La capacité de l'arséniure de gallium à convertir l'énergie solaire en énergie électrique est très élevée. Il peut atteindre une efficacité supérieure à 30%, ce qui en fait l'une des cellules solaires les plus performantes.
2. L'autre avantage de l'arséniure de gallium réside dans son gap direct, ce qui permet aux électrons de passer directement d'une bande d'énergie à une autre sans nécessiter une transition indirecte.
3. Les panneaux solaires à base de GaAs sont couramment employés dans des domaines spatiaux en raison de leur efficacité élevée et de leur capacité à être utilisés à des températures élevées.

Il convient de souligner que l'utilisation de l'arséniure de gallium en association avec d'autres matériaux est fréquente pour créer des cellules solaires à structure hétérojonction afin d'améliorer les performances.

III.6.7. Tellurure de cadmium (CdTe) :

Un matériau semi-conducteur appelé tellurure de cadmium (CdTe) a été spécialement conçu pour absorber et transformer la lumière solaire en électricité. On l'emploie pour fabriquer des cellules photovoltaïques à couches fines. Les cellules solaires au CdTe sont réputées pour leur grande efficacité et leur faible coût, ce qui les rend très prisées dans le domaine de l'écoulement du carbone, de la consommation d'eau la plus faible et de la récupération d'énergie la plus rapide de toutes les technologies solaires. L'un des principaux atouts des cellules photovoltaïques au CdTe réside dans leur efficacité de conversion de la lumière en électricité, notamment en cas d'ensoleillement direct. En comparaison avec les autres technologies photovoltaïques, elles présentent également une sensibilité moindre aux variations de température. Le rendement des cellules CdTe est passé de 17 % à 22 % entre 2013 et 2016 [48], mais il est important de souligner que le tellurure de cadmium est un matériau toxique. À moyen terme, l'emploi de matériaux rares pourrait également entraver l'évolution industrielle de la technologie CdTe. [59]

III.7. Modèle et circuit équivalent d'une cellule PV :

Une cellule PV peut être modélisée par un schéma électrique équivalent qui reproduit son Comportement quand elle est éclairée par un faisceau lumineux.

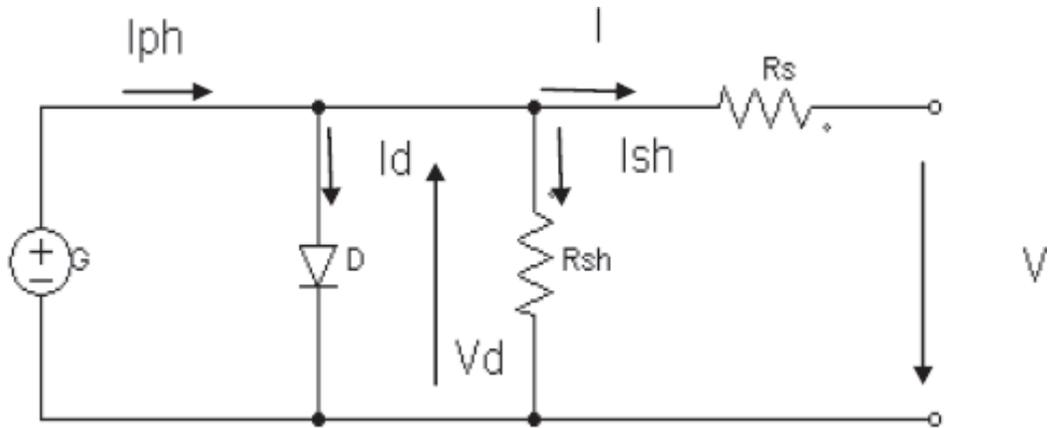


Figure (III.3) : Circuit électrique équivalent d'une cellule solaire

En appliquons la loi de Kirchhoff aux nœuds :

$$I_{cel} = I_{ph} - I_d - I_p \quad (III.1)$$

Le générateur du courant (I_{ph}) : il délivre le courant (I_{ph}) correspondant au courant photo-généré.

La diode : modélise la jonction P-N, avec I_d : courant électrique à travers la diode.

La résistance série R_s : modélise les pertes résistives au sein de la photopile. Elle est liée à l'impédance des électrodes et du matériau ; il en résulte que la tension V aux bornes de la cellule est différente de la tension V_j aux bornes de la jonction pn. Ce terme doit idéalement être le plus faible possible pour limiter son influence sur le courant de la cellule.

La résistance parallèle R_p (résistance shunt R_{sh}) : correspond à une résistance de fuite entre les deux zones n et p de la jonction ; il en résulte qu'une partie du courant (I_{ph}) sera dérivée par cette résistance et ne pourra être délivrée à la charge. Cette résistance devra être la plus élevée possible.

L'expérience montre qu'avec l'obscurité ; une cellule solaire suit le comportement d'une diode classique, elle commence à conduire lorsque la tension appliquée est supérieure à la tension de seuil V_s .

$$V_{th} = \frac{KT}{q} \quad (\text{III.2})$$

V_{th} : le potentiel thermique en Volt (V)

K : la constante de Boltzmann (1.38066×10^{-23} J/K = 8.61400×10^{-5} eV/K).

T : la température absolue en Kelvin (K)

q : la charge absolue d'un électron en coulomb (1.60281×10^{-19} C)

Sous éclairage, un terme I_{ph} , tenant compte du photo-courant généré est rajouté. Dans le cas d'une cellule photovoltaïque réelle, les effets résistifs et les fuites vers les bords d'autres sont tenus en compte. L'équation de la caractéristique I-V devient :

$$I = I_{ph} - I_s \left(e^{\frac{V+IR_s}{nV_{th}}} - 1 \right) - \frac{V+IR_s}{R_{sh}} \quad (\text{III.3})$$

Certains auteurs utilisent la conductance shunt ($G_{sh} = \frac{1}{R_{sh}}$) pour écrire l'équation (III.1)

Sous la forme :

$$I = I_{Ph} - I_S \left(\exp\left(\frac{V+IR_s}{nV_{th}}\right) - 1 \right) - G_{sh}(V+IR_s) \quad (\text{III.4})$$

I_s : le courant de saturation en Ampère (A)

n : le facteur de qualité de la diode ; sans dimension

V_{th} : le potentiel thermique en Volt (V)

I_{Ph} : photo-courant généré (proportionnel au rayonnement incident).

III.8. Caractéristiques électriques de la cellule photovoltaïque :

Caractéristique courant - tension (I-V) :

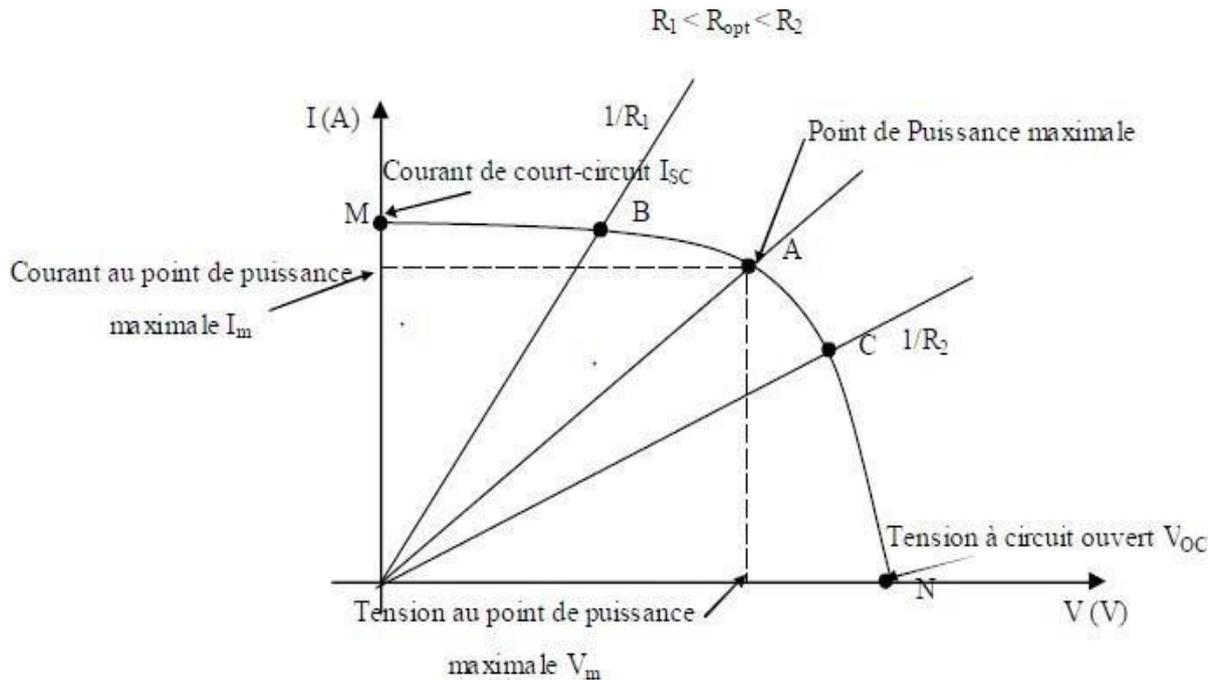


Figure (III.4) : Caractéristique courant - tension (I-V)

La Figure (III.4) montre la caractéristique courant - tension pour une cellule photovoltaïque. Ainsi, si une résistance variable R est connectée aux bornes de la cellule PV, le point de fonctionnement est déterminé par l'intersection de la caractéristique $I=f(V)$ de la cellule avec la courbe de la charge. Pour une charge résistive, la courbe de charge est une droite avec la pente $1/R$. Par conséquent, si la résistance R est petite, le point de fonctionnement est situé dans la région MB de la courbe. Le courant I varie peu en fonction de la tension (il est presque égal au courant de court-circuit). La cellule se comporte comme un générateur de courant. D'autre part, si la résistance R est grande, la cellule fonctionne dans la région CN. Dans cette zone, la tension de la cellule varie peu en fonction du courant I : la cellule se comporte comme une source de tension qui est presque égale à la tension de fonctionnement à vide. Dans la région BC sur la courbe, la cellule PV ne peut être caractérisée ni par une source de courant, ni par une source de tension. C'est dans cette zone que se trouve le point pour lequel la puissance fournie est maximale dans des conditions fixées d'éclairage et de température.

Caractéristique puissance - tension (P-V) :

La caractéristique puissance-tension (P-V) d'une cellule PV est obtenue à partir de sa

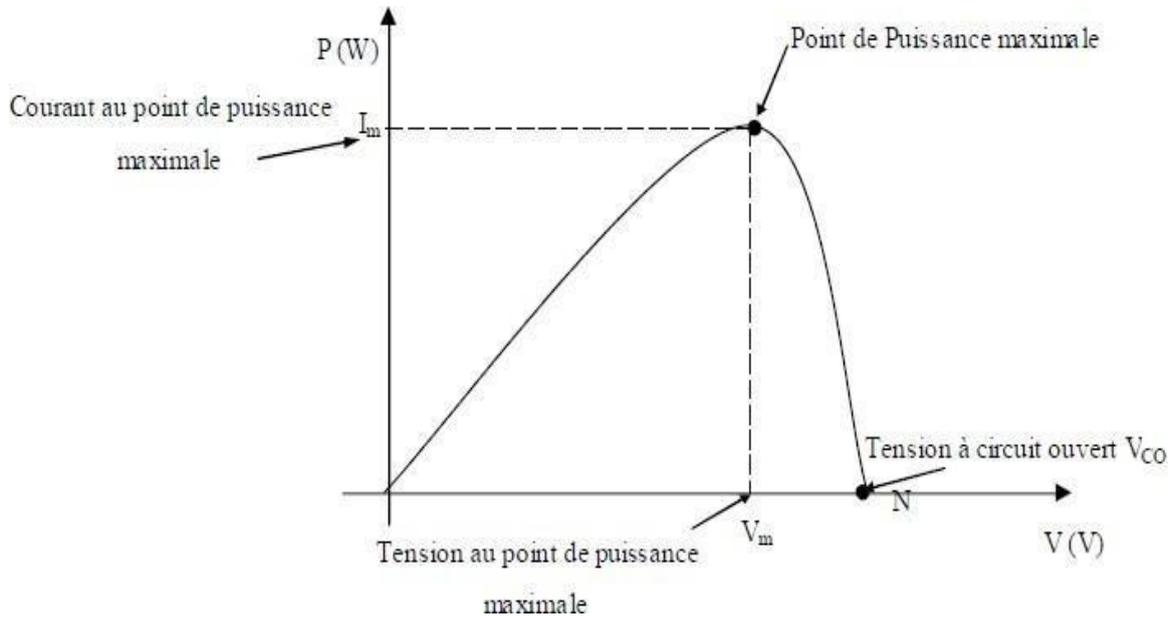


Figure (III .5) : Caractéristique puissance - tension (P-V)

La puissance générée par une cellule PV est donnée par :

$$P = V \cdot I \tag{III.5}$$

La puissance maximale P_m est obtenue lorsque :

$$\frac{dp}{dv} = 0 \tag{III.6}$$

On désigne par I_m , V_m respectivement le courant et la tension avec lesquels la puissance Produite est maximale.

III.9. Paramètres externes :

Plusieurs paramètres caractérisent la cellule solaire photovoltaïque, tels que le rendement de conversion, la tension de court-circuit et de circuit ouvert, le courant de court-circuit et le facteur de forme (FF). Les caractéristiques courant-tension sont utilisées pour extraire ces paramètres, ce qui permet de comparer différentes cellules dans des conditions similaires.

Les paramètres suivants sont définis [52]

Courant de court-circuit I_{cc} :

Le courant maximal que l'on peut obtenir avec une cellule solaire est le courant de court-circuit. En général, il s'accroît avec l'intensité de l'éclairage. Le courant I_{cc} correspond à la tension $V=0$. Dans la situation optimale ($R_s =$ nulle et $R_{sh} =$ infinie), ce courant se confond avec le courant photoélectrique I_{ph} ($I_{cc} = I_{ph}$).

Tension à circuit-ouvert V_{co} :

La tension mesurée lorsqu'aucun courant ne circule dans le dispositif PV. Elle dépend du type de cellule solaire et de l'éclairement et du type des matériaux de la couche active.

Facteur de forme :

Selon un ensemble de paramètres, le facteur de forme d'une cellule solaire est défini comme le rapport entre la puissance maximale et la puissance calculée en multipliant la tension de circuit ouvert par le courant de court-circuit. La qualité électrique de la cellule est déterminée par le facteur de forme, qui est calculé selon l'équation suivante :

$$FF = P_m / (I_{cc} * V_{co}) = (I_m * V_m) / (I_{cc} * V_{co}) \quad (\text{III.7})$$

Le rendement de la cellule :

Le rendement d'une cellule solaire est défini comme le rapport de la puissance maximale fournie par la cellule P_m à la puissance lumineuse d'incident.

$$n = (P_m) / (S * E) \quad (\text{II.8})$$

S : surface de la cellule en m^2 .

E : l'ensoleillement en W/m^2 .

Influence de l'éclairement et de la température :

Influence de l'éclairement :

L'éclairement diminué entraîne une réduction de la formation de paires électron/trou avec un courant modifié dans l'obscurité. En raison de la soustraction du courant photovoltaïque et du courant de diode à l'obscurité, le courant solaire I_{cc} diminue en proportion de la variation de l'éclairement, ce qui entraîne une légère diminution de la tension V_m , ce qui entraîne un décalage du point P_m du panneau solaire vers les puissances inférieures. Les illustrations ci-dessous illustrent les propriétés $P(V)$ et $I(V)$ d'un générateur photovoltaïque pour une température constante ($T=25^\circ C$) et un ensoleillement variable.

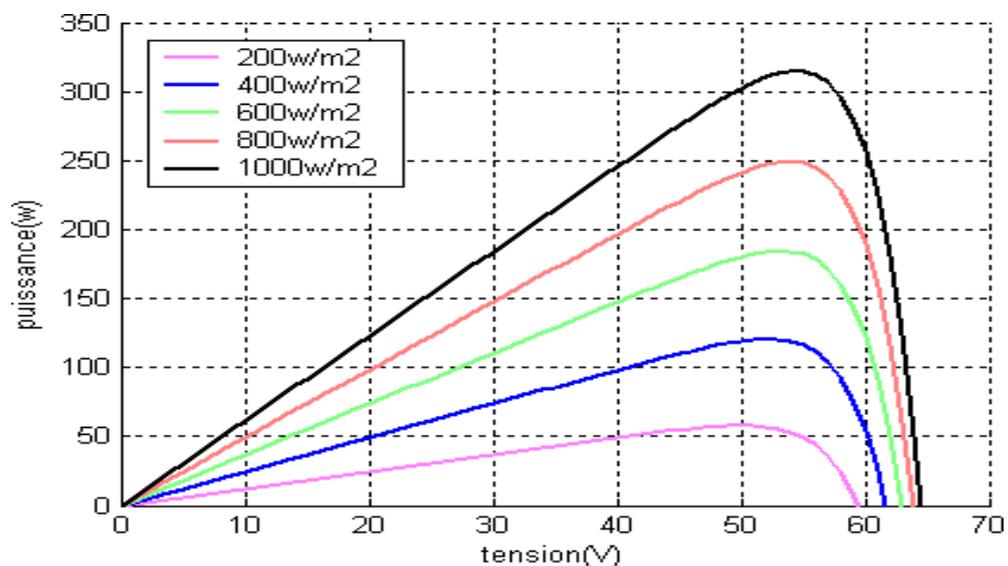


Figure (III .6) : Courbes P(V) d'un panneau à divers ensoleillements à T=25°C

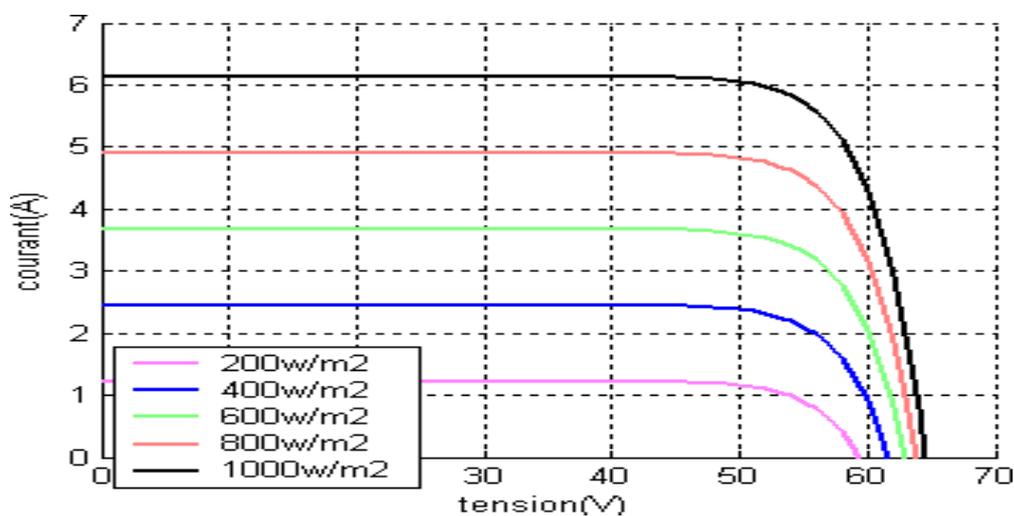


Figure (III.7) : Courbes I(V) d'un panneau à divers ensoleillements à T=25°

Il est évident que le courant de court-circuit dépend directement de l'intensité du rayonnement. En revanche, la tension en circuit ouvert n'est pas sensiblement différente, mais reste presque constante même à faible éclairage. Il en résulte que :

1. La puissance maximale de la cellule (P_m) est presque égale à l'éclairage
2. Les points de puissance maximale se trouvent à peu près à la même tension [50]

Influence de la température :

. Il est observé que la température n'a qu'un impact minime sur la valeur du courant de court-circuit. En revanche, la tension dans le circuit ouvert diminue de manière significative lorsque la température augmente. Il est donc conclu que le panneau peut fournir une tension adéquate, même à faible éclairage, ce qui entraîne une diminution de la puissance extractible. Il convient de noter que la capacité du panneau diminue d'environ 0,5% à chaque fois que la température de la cellule dépasse 25 °C. Enfin, il convient de souligner que lorsque l'éclairage est inférieur à 100 W/m², la tension du panneau fluctue également. Elle diminue avec la lumière [51]

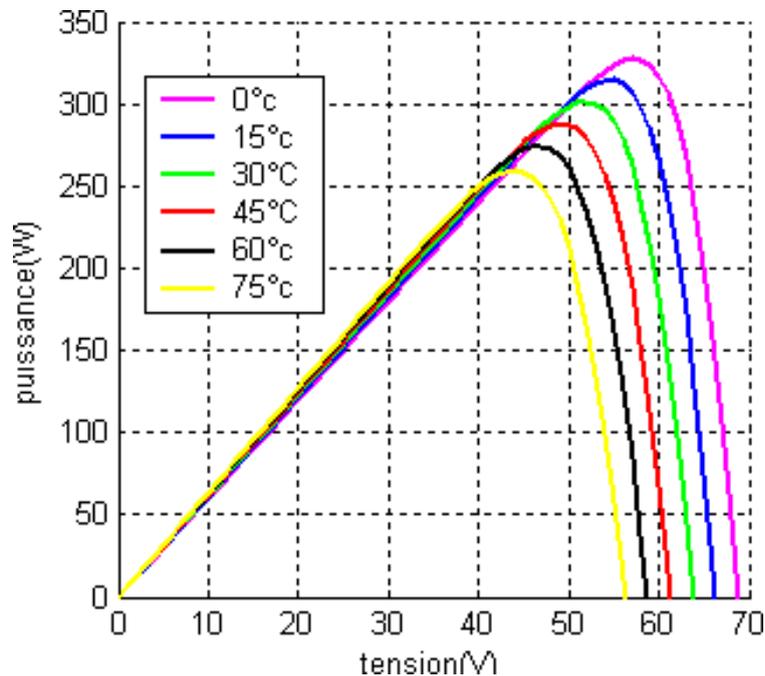


Figure (III .8) : Courbes P(V) d'un GPV pour différentes températures à $G=1000W/m$

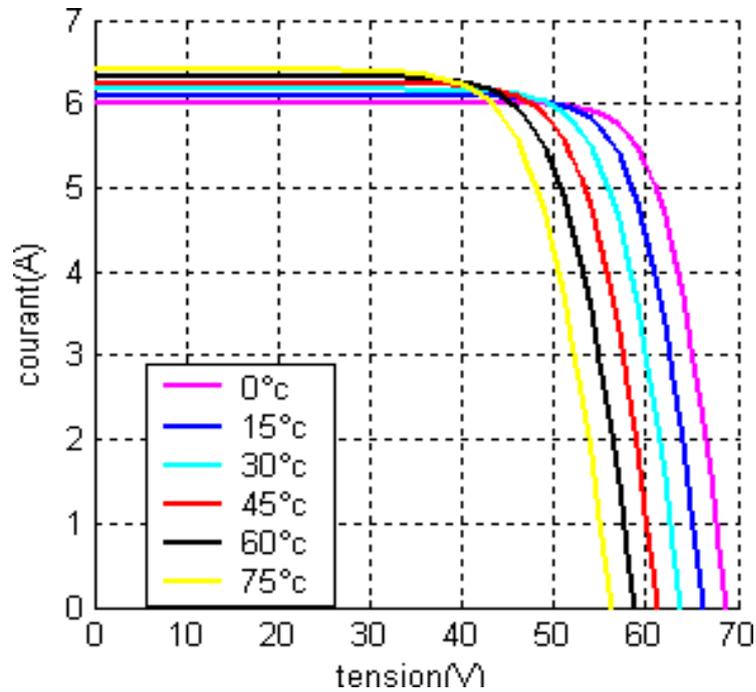


Figure (III.9) : Courbes I(V) d'un GPV pour différentes températures à G=1000W/m

III.10. Association des cellules PV (le module PV) :

L'élément fondamental d'un système solaire est la cellule solaire, qu'elle soit ronde ou carrée. Un module solaire est constitué d'un ensemble de cellules reliées électriquement entre elles et encapsulées, ce qui les protège des agents extérieurs. Un panneau solaire est composé de plusieurs modules. Un système ou un champ solaire est constitué de plusieurs panneaux, avec des protections, un régulateur, un système de stockage d'énergie (batterie) et des appareils de contrôle et de mesure.

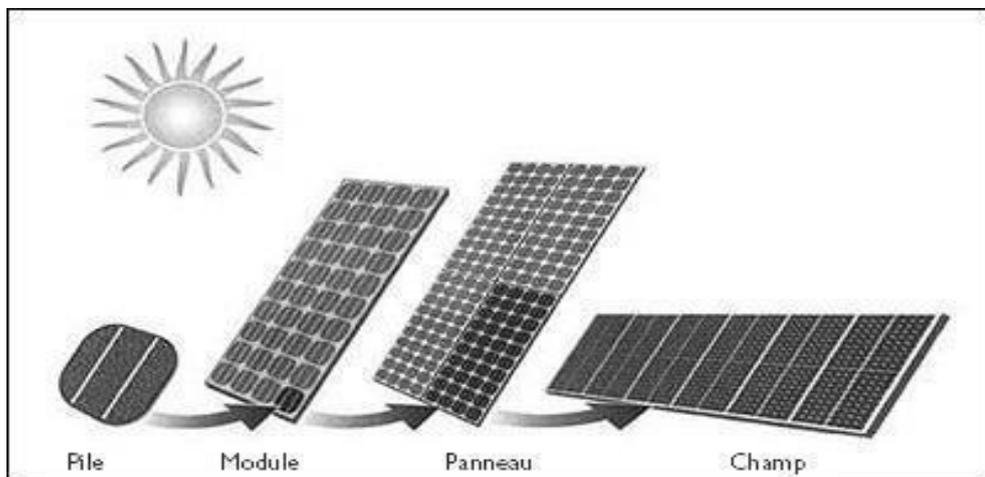


Figure (III .10) : Cellule, module, panneau, champ photovoltaïque

Le mot générateur photovoltaïque GPV est employé pour désigner, en fonction de l'application en question, un module ou un panneau solaire photovoltaïque. Cependant, il peut faire référence au système photovoltaïque complet. La caractéristique I(V) d'un module solaire ou photovoltaïque présente une forme générale similaire à celle d'une cellule solaire élémentaire.

Association des cellules en série :

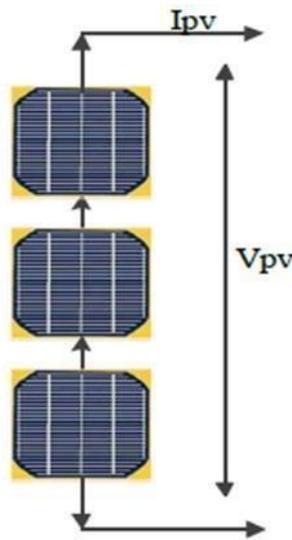


Figure (III.11) : Schéma de 3 cellules photovoltaïques associées en série

La mise en série de (N_s) cellules permet d'accroître la tension du GPV. On traverse alors les cellules avec le même courant et on obtient la caractéristique du groupement série en additionnant les tensions élémentaires de chaque courant.

L'équation résume les caractéristiques électriques d'une association série de (N_s) cellules

$$V_{sco} = N_s \cdot V_{CO} \quad (III.9)$$

$$I_{scc} = I_{cc} \quad (III.10)$$

V_{CO} : la tension du circuit ouvert

$I_{scc} = I_{cc}$: le courant de court-circuit

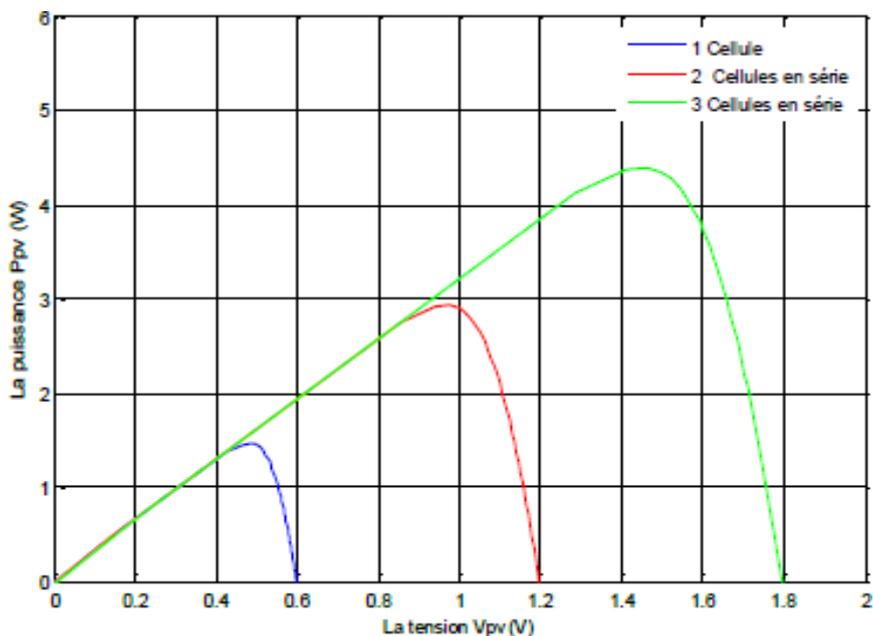


Figure (III .12): Caractéristique P-V des cellules PV raccordées en série

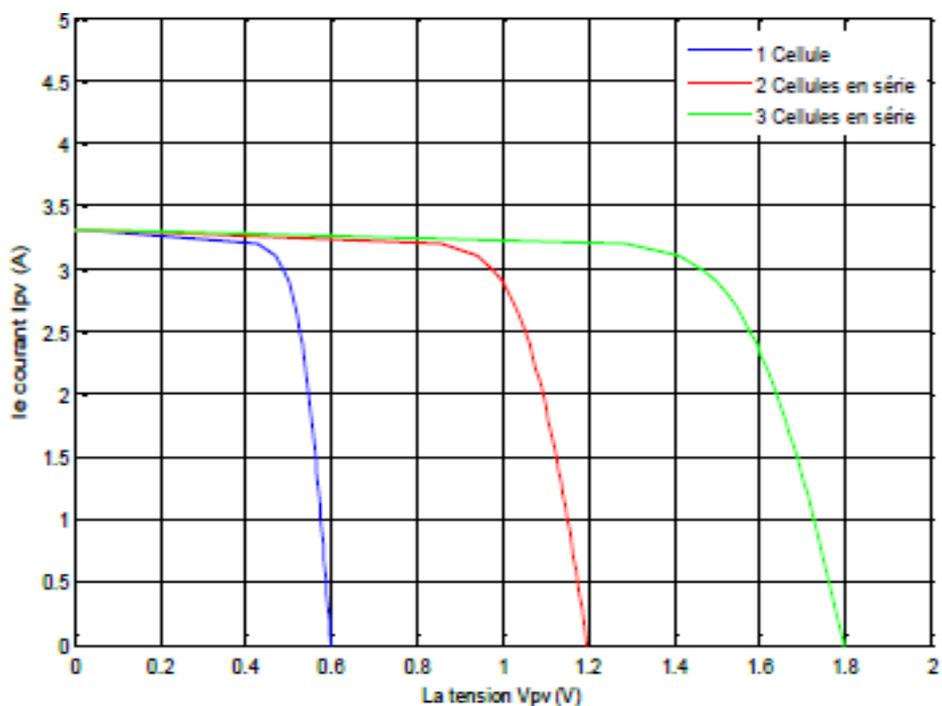


Figure (III .13) : Caractéristique I-V des cellules PV raccordées en série

Association des cellules en parallèle :

Une association parallèle de (NP) cellules est possible et permet d'accroître le courant de Sortie du générateur ainsi créé. Dans un groupement de cellules identiques connectées en Parallèle, les cellules sont soumises à la même tension et la caractéristique résultante du Groupement est obtenue par addition des courants

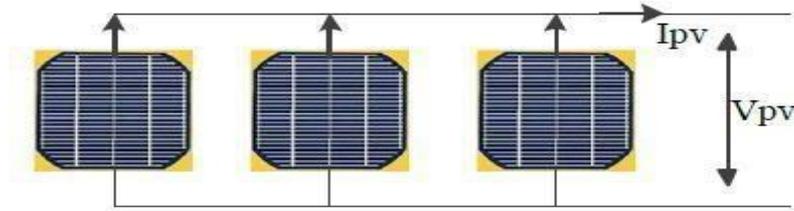


Figure (III .14) : Schéma de 3 cellules photovoltaïques associées en parallèle

La caractéristique résultante (I_{pcc} , V_{pco}) obtenue en associant en parallèle (indice p) np cellules identiques (I_{cc} , V_{co}).

$$I_{pCC} = N_p \cdot I_{CC} \tag{III.11}$$

$$V_{pco} = n_s \cdot V_{co} \tag{III .12}$$

$I_{pcc} = n_p I_{cc}$: le courant de court-circuit.

$V_{pco} = V_{co}$: la tension de circuit ouvert.

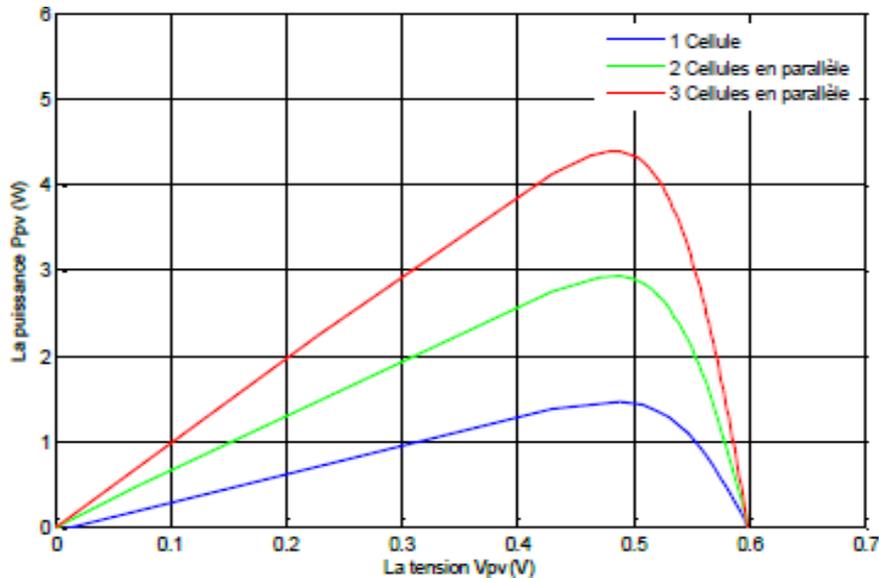


Figure (III .15) : Caractéristique P-V des cellules PV raccordées en parallèle

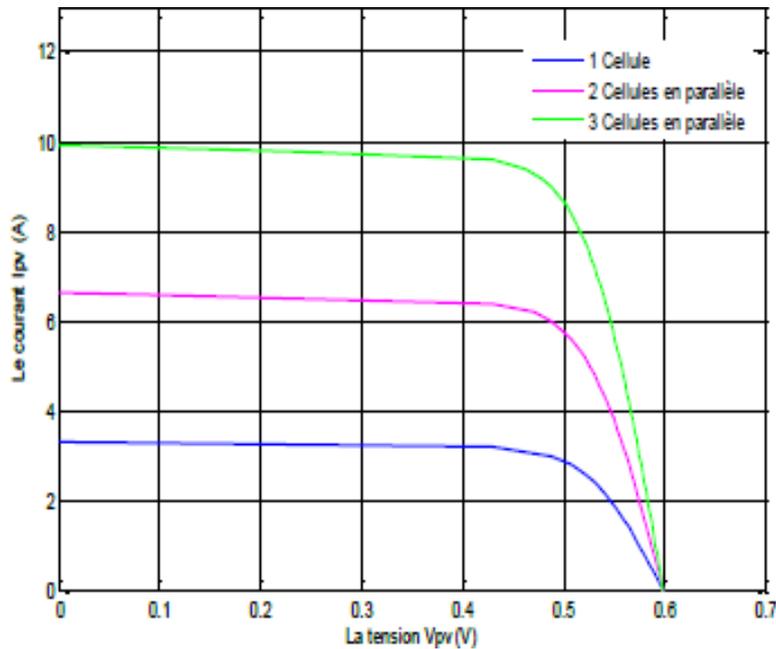


Figure (III .16) : Caractéristique I-V des cellules PV raccordées en parallèle

Association mixte des cellules :

L'association en série des photopiles est souvent utilisée pour obtenir une tension importante, car elle produit une tension égale à la somme des tensions individuelles et un courant égal à celui d'une seule cellule. Le schéma ci-dessous illustre la caractéristique d'un groupe de deux modules solaires, ce qui peut être généralisé à une variété de modules solaires en série. Ce type de groupe accroît la tension. Pour obtenir des puissances de quelques kW, à une tension adéquate, il est essentiel de combiner les modules en panneaux et de les monter en rangées de panneaux série et parallèle afin de créer ce que l'on appelle un GPV [46]

Le système photovoltaïque :

Un système photovoltaïque est une combinaison complète d'équipements photovoltaïques qui transforment la lumière solaire en électricité. En général, il est composé de cinq éléments essentiels : le générateur photovoltaïque, la batterie, le régulateur, le convertisseur et la charge. Les panneaux photovoltaïques convertissent l'énergie solaire en courant continu (CC) grâce à leur mécanisme. Il est possible de l'utiliser directement ou de le convertir en courant alternatif (CA) grâce à l'onduleur. L'énergie supplémentaire générée par le système est stockée dans les batteries. Le régulateur est responsable du contrôle de la charge et de la décharge des batteries, assurant ainsi la régulation entre la production, la consommation et le stockage [47]

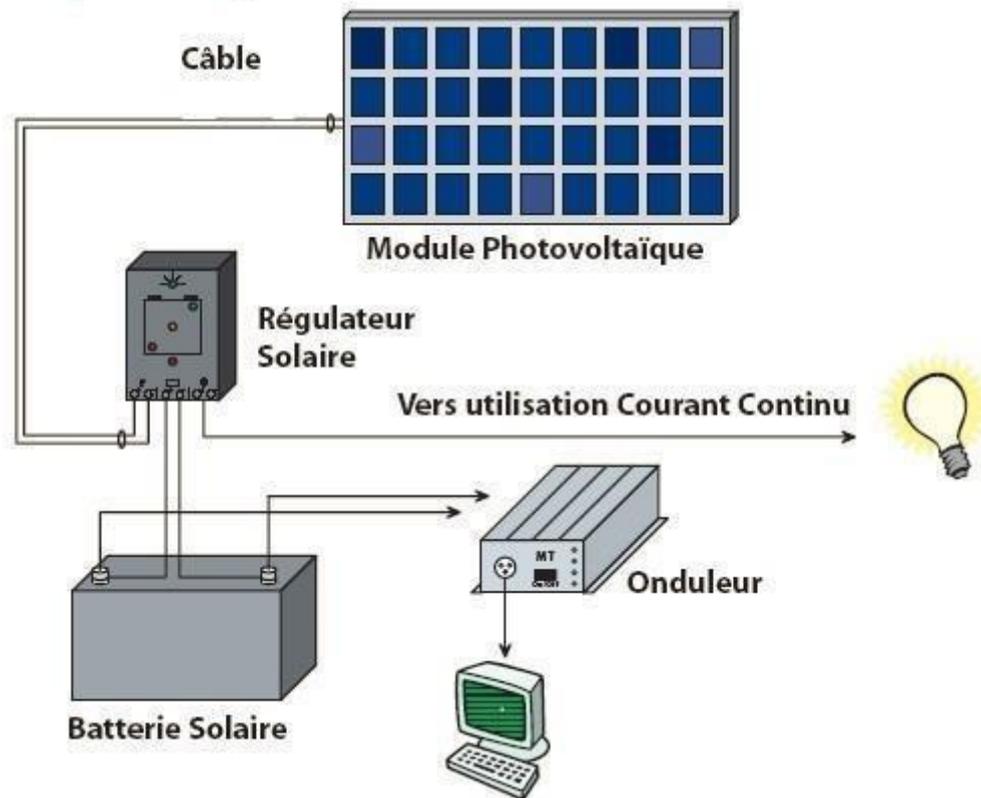


Figure (III .17) : Les constituants d'un système PV

III.11. Le panneau PV :

L'ensemble de cellules photovoltaïques reliées entre elles constitue le module ou le panneau PV, ce dernier est chargé de capter les rayons solaires et les convertir en électricité.

La batterie solaire

Elle est chargée de stocker le courant produit par le panneau pour assurer l'autonomie du système, sa durée de vie est définie par nombre de cycle (charge-décharge), elle se caractérise par :

- Ampérage en Ampère heure (Ah)
- Voltage en Volt.

On peut trouver les types des batteries solaires suivants :

1. Batterie imperméable : il s'agit d'une batterie fermée, imperméable, sèche, sans entretien ni maintenance, à placer à l'abri de la chaleur et de l'humidité, à ne pas stocker plus de 4 à 5 mois, très coûteuse, avec une durée de vie de 17 à 10 ans.
2. La batterie solaire stationnaire : est une batterie ouverte (humide) qui nécessite un entretien (de l'acide chlorhydrique ou de l'eau distillée chaque 6 mois), à un prix plus abordable et avec une durée de vie de 10 à 15 ans.
3. La batterie à gel : est une batterie ouverte conçue pour les régions froides (neige, verglas...), nécessitant un entretien régulier (l'ajout de mono-propylène glycol antigel chaque 6 mois), avec un prix moyen et une durée de vie de 15 ans.

III.12. Le régulateur (contrôleur de charge) :

Les régulateurs sont instaurés afin de garantir la durabilité du système de stockage, ce qui permet de réduire au maximum les dépenses d'installation. En réalité, le rôle d'un régulateur est de :

- Gérer la surcharge et la décharge de la batterie.
- Garantir l'amélioration du système en termes d'efficacité énergétique, car il joue un rôle essentiel dans le transfert d'énergie entre le module, le stockage et l'usage.

Pour que le régulateur puisse fonctionner, il nécessite un indicateur qui le renseigne sur l'état de charge des batteries. L'état de charge des batteries doit être maintenu entre deux seuils : un seuil élevé et un autre bas. Les seuils sont sélectionnés en fonction des spécificités des batteries et des conditions d'utilisation. Un régulateur est caractérisé par : l'ampérage en ampère et la tension en volt.

III.13. Le convertisseur d'énergie (onduleur) :

Il est chargé de convertir le courant continue développé par le solaire, vers un courant

Alternatif, et de voltage de branchement (12 V, 24 V...48V) vers 220 V, il est défini par :

1. Le voltage de branchement en volt et la puissance nominale à développer en watt.
2. La charge

Elle représente l'ensemble des fonctions assurées par divers appareils reliés au système photovoltaïque. Vu les contraintes sur le rendement énergétique des systèmes

Photovoltaïque, il est importé de définir les critères sur lesquels s'appuiera un choix des charges à utiliser : charge continue ou alternative.

III.14. Différents systèmes photovoltaïques :

Les trois genres de systèmes PV que l'on rencontre généralement sont les systèmes Autonomes, hybrides et connectés à un réseau.

III.14.1. Systèmes autonomes :

Selon le besoin, les systèmes autonomes alimentent un ou plusieurs consommateurs situés dans des zones isolées du réseau électrique. Ils sont indépendants du réseau et dépendent uniquement de l'énergie solaire pour répondre à la demande d'électricité.

Les systèmes PV autonomes sont installés là où ils constituent la source d'énergie électrique

La plus économique. On peut classer ces systèmes en deux catégories :

III.14.2. Systèmes avec accumulateurs :

L'excédent de l'énergie produite est stocké dans des batteries. Le schéma synoptique de la Figure suivante décrit ce système.

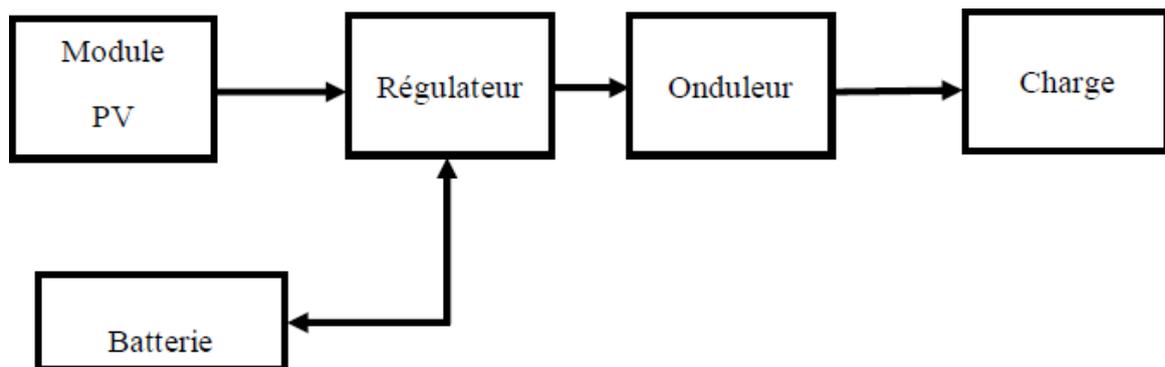


Figure (III.18) : Schéma synoptique d'un système PV autonome avec batterie

III.14.3. Système sans accumulateurs :

Dans ces systèmes sans batterie, il y a possibilité d'avoir recours à une forme de stockage qui ne soit pas de nature électrochimique. Par exemples :

Pompage : stockage par réservoir d'eau,

Réfrigération : stockage de froid (stockage de glace ou eutectique),

Électrolyse de l'eau : stockage d'hydrogène.

III.14.4. Systèmes hybrides :

Les systèmes hybrides sont composés d'un générateur PV combiné à une éolienne ou à un groupe électrogène à combustible (module d'appoint), ou deux à la fois.

Le module d'appoint peut être utilisé selon deux stratégies :

Chargeur des batteries

Alimentation directe de la charge et de charger les batteries.

Un tel système s'avère d'un bon choix pour les applications qui nécessitent une alimentation continue d'une puissance assez élevée, lorsqu'il n'y a pas assez de lumière solaire à certains moments de l'année.

III.14.5. Systèmes connectés au réseau :

Ces systèmes photovoltaïques convertissent l'électricité en courant alternatif (CA) et transfèrent leur surplus d'électricité au réseau auprès duquel ils s'approvisionnent pendant la nuit ou lorsque le rayonnement solaire est insuffisant. Dans ces systèmes on compte :

III.14.6. Systèmes photovoltaïques directement relié au réseau :

Le système ne peut fournir ou prélever de l'énergie qu'au réseau. La batterie n'est plus présente. Le schéma du système PV directement relié au réseau est donné par la figure suivante.

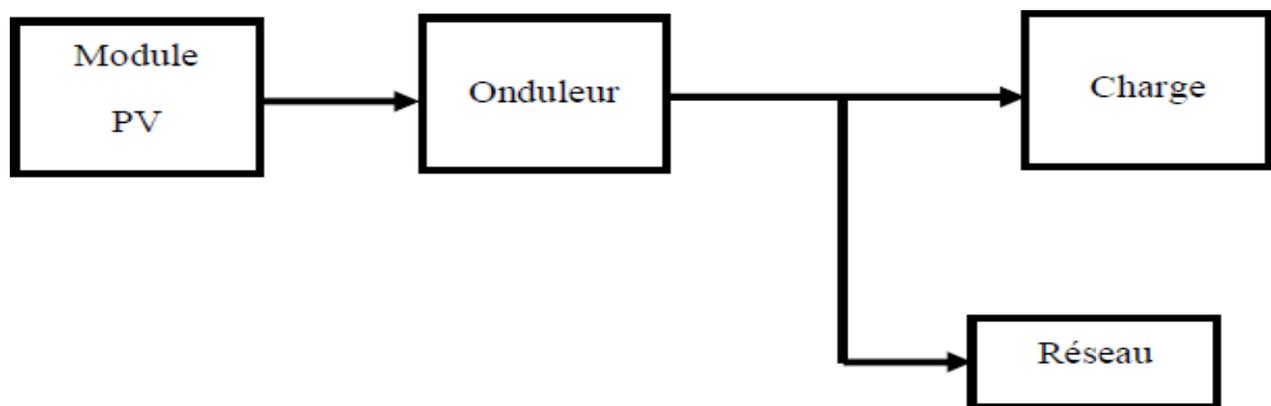


Figure (III.19) : Système photovoltaïque directement relié au réseau

L'absence des batteries est un point positif, car celle-ci augmente le coût de système photovoltaïque. En plus elle doit être entretenue et changée après quelques années.

III.14.7. Systèmes photovoltaïques relié au réseau avec batterie :

Le système peut fournir de l'énergie au réseau et prélever l'énergie d'appoint nécessaire au Réseau. Le schéma d'un système PV relié au réseau avec batterie est le suivant

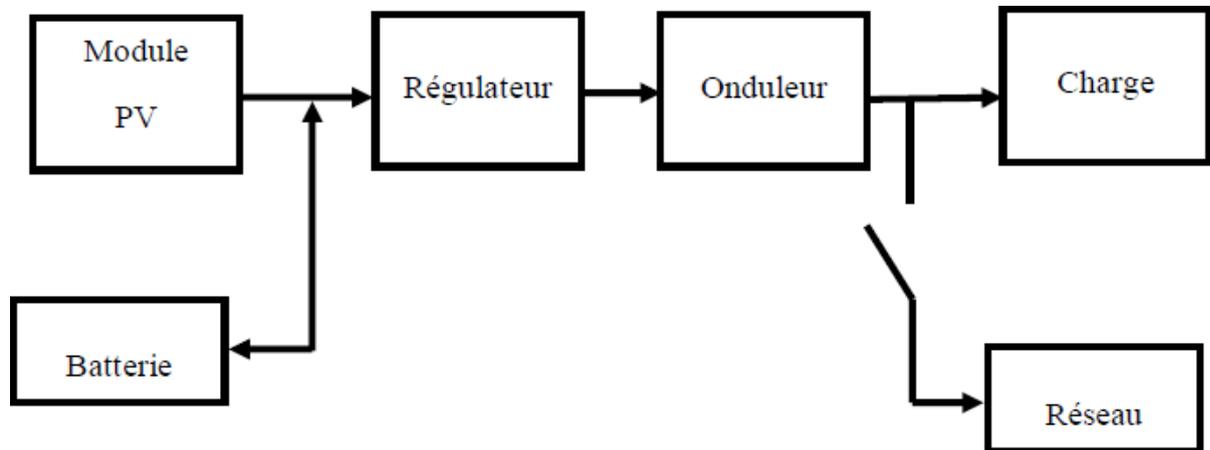


Figure (III .20) : Système photovoltaïque relié au réseau avec batterie

L'énergie est fournie par le module PV à la charge, l'excédent est stocké dans les batteries, dans le cas de décharge ou de surcharge de la batterie, on utilisera le réseau pour prélever ou délivrer l'énergie.

III.15. Avantages et inconvénients des systèmes PV :

On peut citer les avantages et les inconvénients suivants :

III.15.1. Avantages :

1. Convertir l'énergie solaire gratuite et inépuisable en électricité de manière directe.
2. Le bruit, la pollution et les émissions sont absents.
3. Une maintenance minimale (aucun mouvement des pièces ; durée de vie des modules = 20 ans).
4. Une rentabilité garantie pour les applications à faible consommation (moins de 3–5 kWh par jour).
5. La taille de l'installation peut être ajustée en fonction des besoins actuels, avec la possibilité d'être élargie à la demande, au fur et à mesure de l'augmentation du besoin énergétique.
6. La réduction du risque de choc électrique en 12 ou 24 Vcc et la diminution du risque d'incendie par rapport aux groupes électrogènes alimentés au kérosène ou au fuel

III.15.2. Inconvénients :

1. L'investissement dans les panneaux solaires est coûteux.
2. La production d'énergie est constamment influencée par l'ensoleillement.
3. Le taux de conversion de module est faible.
4. Lorsque des batteries sont utilisées pour stocker l'énergie électrique, cela entraîne une augmentation du coût du système photovoltaïque.
5. Pollution lors de la production

III.16. Conclusion :

L'énergie solaire photovoltaïque est une source d'énergie renouvelable qui fait appel à un système photovoltaïque pour convertir la lumière du soleil en électricité. Dans ce chapitre, nous nous penchons sur le fonctionnement d'une cellule photovoltaïque et sur l'analyse de son schéma similaire. Ensuite, nous avons pris en compte les diverses caractéristiques du circuit équivalent qui permettent de mesurer les valeurs $I(V)$ et $P(V)$ d'une cellule photovoltaïque et d'un générateur photovoltaïque. Il est évident que les performances d'un GPV sont grandement impactées par les conditions météorologiques (température, éclairage). Les modules photovoltaïques peuvent être reliés en série afin d'accroître la tension, ou en parallèle afin d'augmenter le courant.

CHAPITRE IV : REALISATION

IV.1. Introduction :

On a exposé les détails de la construction et de la réalisation des différents éléments du capteur hybride photovoltaïque, nous aborderons les conditions de test et d'expérimentation.

IV.2. Modélisation du capteur a air :

IV.2.1 Description du système d'étude :

Notre système est constitué d'une plaque en aluminium sur la quelle sont fixé des baquettes en bois et reprisant les canaux dans les quels va circule l'air

Le capteur va être pose à l'arrière du panneau PV, quand l'air circule dans les canaux, l'air va absorber la chaleur de panneau PV :



Figure (IV-1) : Le capteur solaire a air on aluminium réalisé



Figure (IV-2) : Le capteur solaire vue vertical



Figure (IV-3) : Le capteur solaire

Les dimensions de capteur solaire :

Longueur du capteur $L = 1280$ mm

Larguer du capteur = 640 mm

Épaisseur du capteur = 3 mm

Nombre des chicane :

8 chicane pour le capteur de 7 canaux.

7 chicane pour le capteur de 6 canaux.

6 chicane pour le capteur de 5 canaux.

5 chicane pour le capteur de 4 canaux.

4 chicane pour le capteur de 3 canaux.

3 chicane pour le capteur de 2 canaux.

2 chicane pour le capteur de 1 canaux.

Épaisseur de la lame d'air on a 3 cas :

34 mm pour le capteur avec des chicane de l'épaisseur de 34 mm.

68 mm pour le capteur avec des chicane de l'épaisseur de 68 mm.

102 mm pour le capteur avec des chicane de l'épaisseur de 102 mm.

IV.2.2 BILAN THERMIQUE :

Calcul de l'énergie solaire incidente

$$E_{\text{solaire}} = G \times A$$

G : Irradiation solaire (W/m^2)

A: Surface du capteur (m^2)

Calcul de la production électrique

$$P_{\text{electrique}} = \eta_{\text{PV}} \times E_{\text{solaire}}$$

η_{PV} : Efficacité du module photovoltaïque

Calcul de la production thermique

$$P_{\text{thermique}} = \dot{m} \times C_p \times (T_{\text{sortie}} - T_{\text{entree}})$$

\dot{m} : Débit massique de l'air (kg/s)

C_p : Capacité thermique massique de l'air ($\text{J}/\text{kg} \cdot \text{K}$)

T_{sortie} : Temperature de l'air en sortie du capteur (K)

T_{entree} : Temperature de l'air en entrée du capteur (K)

Calcul des pertes thermique

Pertes thermiques par convection

$$Q_{conv} = h_{conv} \times A \times (T_{surface} - T_{air})$$

h_{conv} : Coefficient de convection ($W/m^2 \cdot K$)

Surface: Temperature de la surface du capteur (K)

T air: Temperature de l'air ambiant (K)

Pertes thermiques par conduction

$$Q_{cond} = k \times A \times ((T_{int} - T_{ext}) / d)$$

k : Conductivity thermique du matériau ($W/m \cdot K$)

T_{int} : Température intérieure (K)

T_{ext} : Température extérieure (K)

d : Épaisseur du matériau (m)

Pertes thermiques par rayonnement

$$Q_{ray} = \epsilon \times \sigma \times A \times (T_{surface}^4 - T_{ambiante}^4)$$

ϵ : Émissivité de la surface

σ : Constant de Stefan-Boltzmann ($5.67 \times 10^{-8} W/m^2 \cdot K^4$)

$T_{surface}$: Temperature de la surface du capteur (K)

$T_{ambiant}$: Temperature ambiante (K)

Calcul de l'efficacité thermique

$$\eta_{thermique} = P_{thermique} / E_{solaire}$$

Calcul de l'efficacité globale du système PVT

$$\eta_{globale} = \eta_{PV} + \eta_{thermique}$$

Bilan thermique global

Pour obtenir le bilan thermique global, il est nécessaire de prendre en compte les gains thermiques et les différentes pertes :

Energie thermique utile nette

$$P_{thermique_utile} = P_{thermique} - Q_{conv} - Q_{cond} - Q_{ray}$$

IV.2.3 DESCRIPTION DU BANC DESSAI :

- Le capteur solaire est posé à l'arrière du panneau PV
- Le capteur composé plusieurs canaux
- L'air circule d'une manière naturelle dans le capteur thermique entrée de la partie inférieure de capture et sortie de la partie supérieure et récupère la chaleur dégagée par la face arrière du panneau photovoltaïque refroidissant ainsi les cellules Photovoltaïques

IV .2.4 Réalisation du capteur hybride PVT :

La réalisation du capteur hybride photovoltaïque thermique a eu lieu au département des Énergies renouvelables, et les étapes suivantes ont été suivies :

- L'élaboration d'un modèle pour le capteur solaire.
- La mise en place du capteur solaire.
- La modification du panneau solaire.

IV.2.5 Le panneau photovoltaïque :

Le panneau solaire photovoltaïque employé est produit par "Condor" d'Algérie (Figure IV.4), avec une puissance crête de 160 W. Ce modèle a été choisi en raison de sa disponibilité locale et d'un équilibre entre les coûts, les dimensions, la puissance et le rendement.



Figure (IV-4) : Photo du module PV Condor de 160Wc

Le tableau ci-dessous présente les diverses caractéristiques du panneau solaire utilisé dans notre projet :

Tableau (IV-1) : Les caractéristiques du panneau solaire utilisent

Caractéristiques mécanique	
Type de cellules	Monocristalline avec antireflet
Nombres de cellules	36 (4×9)
Dimension de la cellule (mm)	156×156
Dimension du module (mm)	1482×674×45
Poids du module (Kg)	12
Cadre	Alliage en aluminium anodisé
Type de verre	Trempé 3,2 mm d'épaisseur
Température d'utilisation	-40°C à 85°C
Caractéristiques électrique	
Puissance nominale (Wc)	160
Voltage circuit ouvert (V)	22,5
Courant de court-circuit (A)	9,08
Tension maximale produite (V)	19,03
Courant maximale produit (A)	8,5
Système voltage maximale (V)	1000
Charge maximale du fusible (A)	15
Température nominale de fonctionnement (°C)	45±2
Coefficient de température de puissance (%/°C)	-0,41
Coefficient de température de courant (%/°C)	+0,03
Coefficient de température de tension (%/°C)	-0,32

IV.2.6 Chauffe-air en aluminium :

Nous avons finalement fabriqué un chauffe-air que nous allons fixer à notre panneau photovoltaïque et mesurer la température d'entrée et de sortie. Nous avons commencé pour l'installation de 8 chicanes en bois espacées de 10cm.

2- Nous avons fixé les chicanes à une hauteur de 3,4cm afin d'éviter une lame d'air importante,

À chaque fois on a changé le nombre des chicanes et augmenter leur épaisseur pour avoir la différence entre les deux.

Après nous avons réalisé un capteur à air en bois pour avoir l'influence de la matière de capteur sur le rendement de système hybride photovoltaïque thermique PVT



Figure (IV-5) : le capteur solaire a air on aluminium réalisé

IV.2.7 Les instruments utilisés :

Les instruments de mesure sont des dispositifs qui permettent d'obtenir expérimentalement des valeurs qui peuvent être attribuées à une grandeur. Les tests effectués par le département des énergies renouvelables sont destinés à l'instrumentation électrique et thermique.

Digital lux meter (hand held light meter HS 1010):



Figure (IV-6) : Digital luxmètre

Un thermocouple type j :

Dans ce cas on a utilisé 2 thermocouples type j pour mesurer la température de sortie et d'entrée et la température de panneaux
Et un autre thermocouple type j pour mesurer vco et Ice



Figure (IV-7): Thermocouple type j



Figure (IV-8): Multimeter voltcraft M-3850

IV.3 Chauffe-air en bois :

Matière de capteur = le bois

Longueur du capteur $L = 1280$ mm

Larguer du capteur = 640 mm

Épaisseur du capteur = 3 mm

Nombre des chicanes = 8

Épaisseur des chicanes = 34 mm



Figure (IV-9) : le capteur solaire a air on bois réaliser

IV.4 Chauffe-air en aluminium avec des chicane horizontales :

Matière de capteur = aluminium

Longueur du capteur $L = 1280$ mm

Larguer du capteur = 640 mm

Épaisseur du capteur = 3 mm

Nombre des chicanes = 9

Épaisseur des chicanes = 34 mm



Figure (IV- 10) : Chauffe- air en aluminium
avec des chicanes horizontales

IV.5 Les tests finaux :

14 mai 2024 : les tests de capteurs solaires à air avec sept canaux et une

Épaisseur de 112 mm

15 mai 2024 : les tests de capteurs solaires à air avec sept canaux et une

Épaisseur de 68 mm

16 mai 2024 : les tests de capteurs solaires à air avec sept canaux et une

Épaisseur de 34mm

21 mai 2024 : les tests de capteurs solaires à air avec un canal et une épaisseur de

22 mai 2024 : les tests de capteurs solaires à air avec un canal et une épaisseur de 68 mm 68 mm

23 mai 2024 : les tests de capteurs solaires à air avec deux canaux et une Épaisseur de 68 mm

27 mai 2024 : les tests de capteurs solaires à air avec deux canaux et une Épaisseur de 34mm

30 mai 2024 : les tests de capteurs solaires à air avec trois canaux et une

Épaisseur de 34 mm

1 juin 2024 : les tests de capteurs solaires à air avec trois canaux et une épaisseur de 68 mm

2 juin 2024 : les tests de capteurs solaires à air avec trois canaux et une épaisseur de 34 mm

3 juin 2024 : les tests de capteurs solaires à air avec quatre canaux et une Épaisseur de 68 mm

4 juin 2024 : les tests de capteurs solaires à air avec Cinq canaux et une Épaisseur de 34 mm

7 juin 2024 : les tests de capteurs solaires à air avec cinq canaux et une épaisseur de 68 mm

8 juin 2024 : les tests de capteurs solaires à air avec six canaux et une épaisseur de 34 mm :

25 juin 2024 : les tests de capteurs solaires à air on bois

26 juin 2024 : les tests de capteurs solaires à air on aluminium avec des chicanes horizontales

IV.6 Conclusion :

Ce chapitre a exposé de manière succincte l'impact du soleil sur la Terre ainsi que les propriétés énergétiques des mouvements de ces deux astres. On a également exposé des définitions concernant le soleil, notamment sa structure et son rayonnement.

Ensuite, on a réalisé une modélisation thermique et mathématique approfondie du capteur solaire plan. On a défini du banc d'essai les instruments utilisés et la méthode de réalisation de notre capteur.

CHAPITRE V : RESULTATS ET DISCUSSIONS

V.1. Introduction :

Ce chapitre est dédié à l'analyse approfondie et à la discussion des résultats obtenus, visant à parvenir à une conclusion concernant l'étude comparative sur les nombres des Canales et l'épaisseur de ces canaux pour un capteur solaire à air

On va comparer aussi entre un capteur à air on aluminium et un capteur à air on bois. Les résultats seront présentés sous forme de courbes, en Mettant en évidence les Données relatives à notre étude

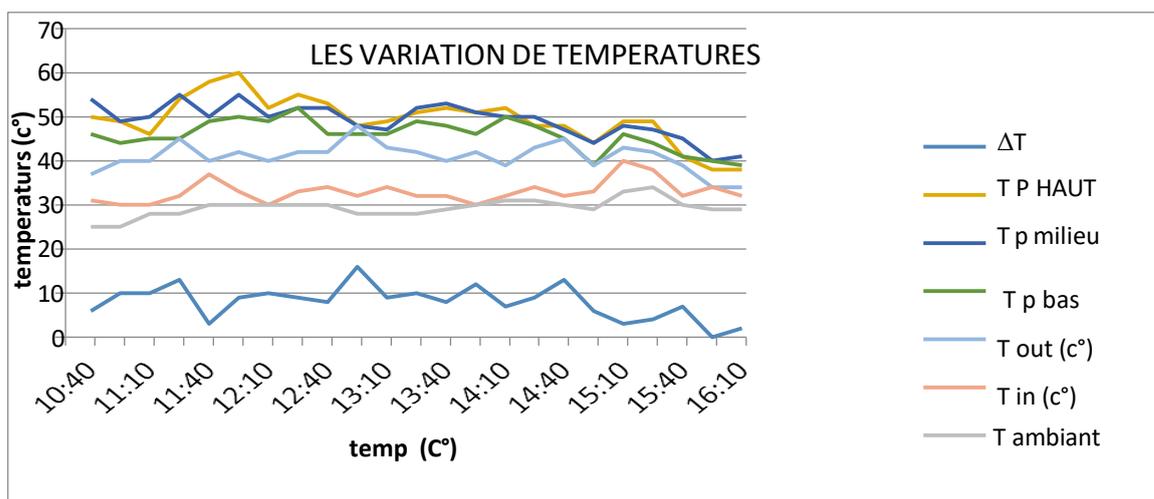
V.2. Cas du capteur solaire à air on aluminium :

V.2.1. Cas de capteurs solaire à air avec un canal et une épaisseur de 34 mm :

Les résultats expérimentaux présentés sont les mesures en convection naturelle, pour la journée du 21 mai 2024.

Analyse des résultats :

Les températures de sortie et d'entrée, ainsi que la température ambiante et la différence de température entre l'entrée et la sortie du Capteur, varient en fonction du temps dans la figure (V-1). Il a été observé que la température varie entre la sortie et l'entrée du capteur jusqu'à 16°, ce qui témoigne de l'efficacité du capteur.



Figure(V-1) : Les variations des températures on fonction de temps dans le capteur à aire avec une canal et épaisseur de 34mm.

Tableau (V-1) : Les mesure obtenu pour cas de capteurs solaire à air avec un canal et une épaisseur de 34 mm

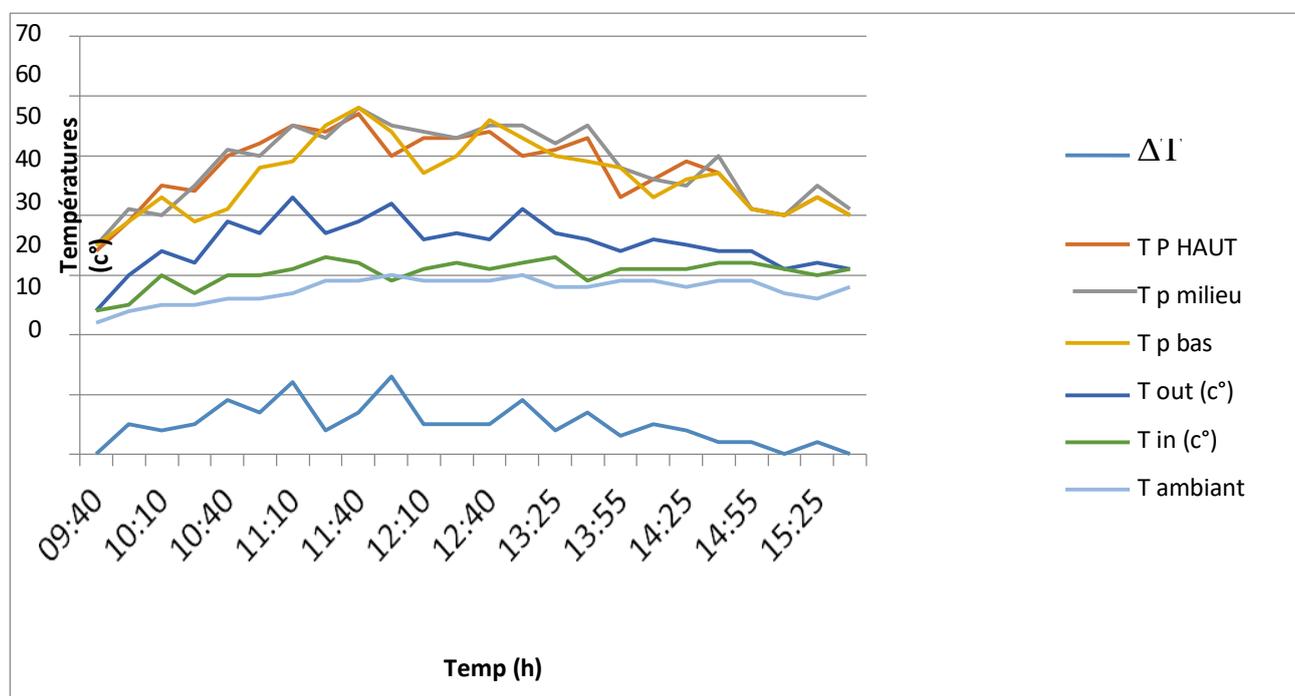
Temps (h)	T ambiante (c°)	T In (c°)	T out (c°)	T panneau bas(c°)	T Panneau Milieu (c°)	T panneau HAUT(c°)	Vce (v)	Ico (A)	ΔT (c°)
10:40	25	31	37	46	54	50	19,96	7,61	6
10:55	25	30	40	44	49	49	19,97	7,78	10
11:10	28	30	40	45	50	46	19,91	8,11	10
11:25	28	32	45	45	55	54	19,91	8,15	13
11:40	30	37	40	49	50	58	19,72	8,24	3
11:55	30	33	42	50	55	60	19,72	8,33	9
12:10	30	30	40	49	50	52	19,87	8,55	10
12:25	30	33	42	52	52	55	19,56	8,41	9
12:40	30	34	42	46	52	53	19,74	8,26	8
12:55	28	32	48	46	48	48	19,77	8,25	16
13:10	28	34	43	46	47	49	19,69	8,05	9
13:25	28	32	42	49	52	51	19,78	7,99	10
13:40	29	32	40	48	53	52	19,74	7,75	8
13:55	30	30	42	46	51	51	19,71	7,43	12
14:10	31	32	39	50	50	52	19,84	7,23	7
14:25	31	34	43	48	50	48	19,89	6,96	9
14:40	30	32	45	45	47	48	20,09	6,43	13
14:55	29	33	39	39	44	44	20,12	6,28	6
15:10	33	40	43	46	48	49	20,16	5,82	3
15:25	34	38	42	44	47	49	20,28	5,41	4
15:40	30	32	39	41	45	41	20,26	4,89	7
15:55	29	34	34	40	40	38	20,41	4,56	0
16:10	29	32	34	39	41	38	20,51	4,13	2

V.2.2 Cas de capteurs solaire à air avec un canal et une épaisseur de 68 mm :

Les résultats expérimentaux présentés sont les mesures en convection naturelle, pour la journée du 22 mai 2024.

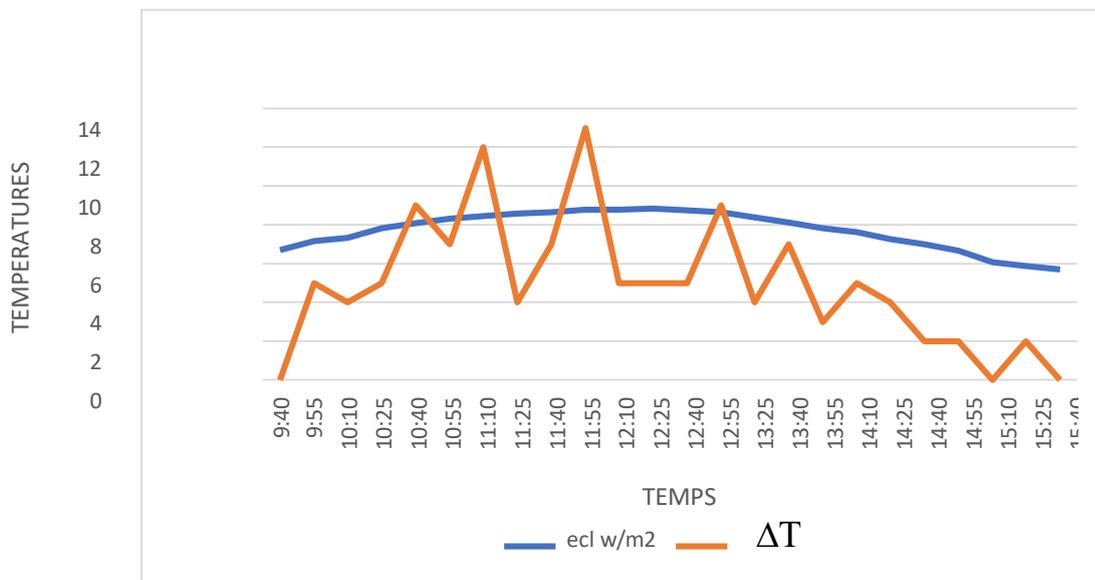
Analyse des résultats :

Les températures de sortie et d'entrée, ainsi que la température ambiante et la différence de température entre l'entrée et la sortie du Capteur, varient en fonction du temps dans la figure (V-2). Il a été observé que la température varie entre la sortie et l'entrée du capteur, atteignant jusqu'à 13°, ce qui indique que l'efficacité du capteur diminue lorsque l'épaisseur des chicanes augmente.



Figure(V-2) : Les variations des températures on fonction de temps dans le Capteur à aire avec une canal et épaisseur de 68mm.

Le tableau ci-dessous représente Les mesure obtenu pour cas de capteurs solaire à air avec un canal et une épaisseur de 34 mm

Les variation de ΔT et de l'éclairementFigure(V-3) : les variations de ΔT et de l'éclairement

Les fluctuations de ΔT et de l'éclairement sont illustrées dans la figure (V-3). Il est possible de constater que la courbe de variation de la température du panneau suit en réalité celle de l'éclairage.

Le tableau ci-dessous représente Les mesure obtenu pour cas de capteurs solaire à air avec un canal et une épaisseur de 68mm

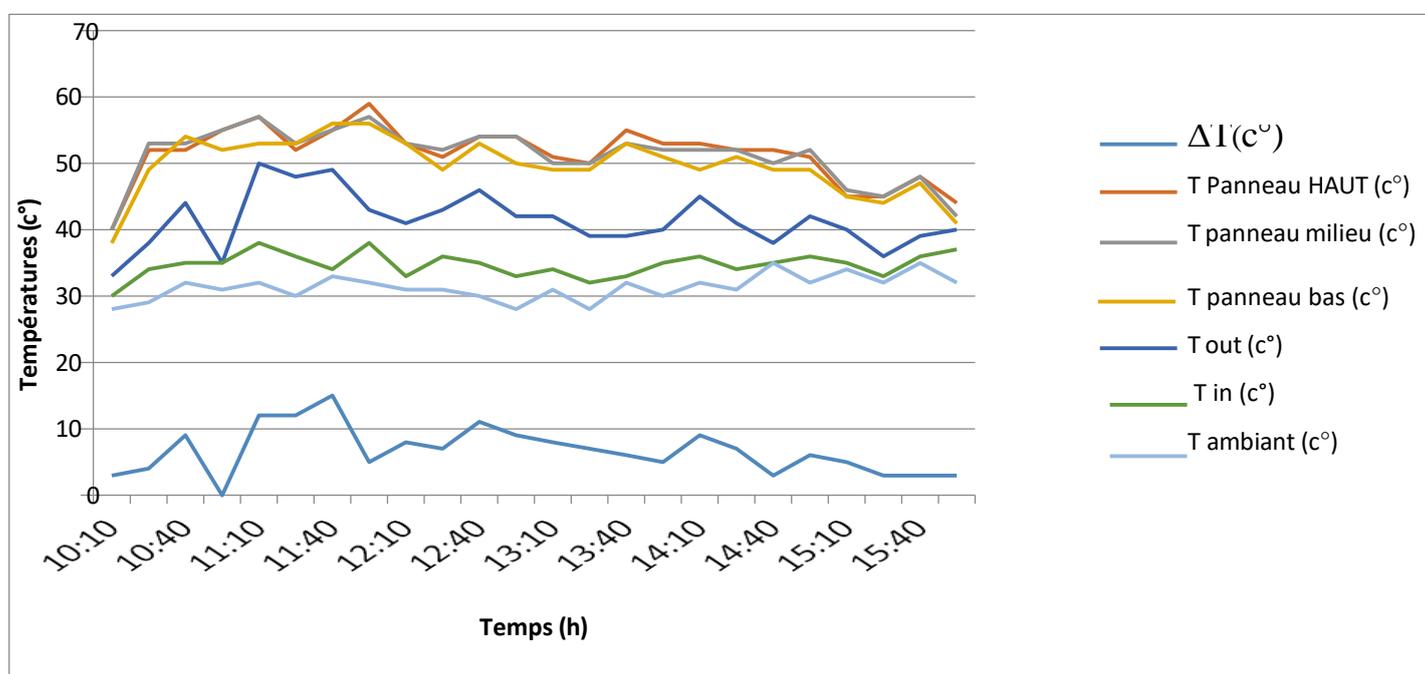
Temps (h)	T Ambiant (c°)	T in(c°)	T out(c°)	T Panneau bas (c°)	T Panneau Milieu (c°)	T Panneau haut (c°)	ΔT (c°)	Vce (v)	Ico (A)	Eclairment (w/m2)
09:40	22	24	24	35	35	34	0	21,18	6,18	6,708333333
09:55	24	25	30	39	41	39	5	20,49	6,63	7,158333333
10:10	25	30	34	43	40	45	4	20,21	6,69	7,341666667
10:25	25	27	32	39	45	44	5	20,23	7,51	7,841666667
10:40	26	30	39	41	51	50	9	19,96	7,75	8,091666667
10:55	26	30	37	48	50	52	7	19,88	7,9	8,325
11:10	27	31	43	49	55	55	12	19,75	8,24	8,466666667
11:25	29	33	37	55	53	54	4	19,52	8,25	8,583333333
11:40	29	32	39	58	58	57	7	19,57	8,28	8,65
11:55	30	29	42	54	55	50	13	19,62	8,43	8,791666667
12:10	29	31	36	47	54	53	5	19,89	8,44	8,8
12:25	29	32	37	50	53	53	5	19,96	8,39	8,841666667
12:40	29	31	36	56	55	54	5	19,85	8,29	8,758333333
12:55	30	32	41	53	55	50	9	19,73	8,43	8,666666667
13:25	28	33	37	50	52	51	4	19,95	7,9	8,391666667
13:40	28	29	36	49	55	53	7	19,87	7,73	8,141666667
13:55	29	31	34	48	48	43	3	19,98	7,4	7,833333333
14:10	29	31	36	43	46	46	5	19,98	7,11	7,633333333
14:25	28	31	35	46	45	49	4	20,06	6,96	7,266666667
14:40	29	32	34	47	50	47	2	20,1	6,51	7,016666667
14:55	29	32	34	41	41	41	2	20,16	6,24	6,666666667
15:10	27	31	31	40	40	40	0	20,26	5,52	6,083333333
15:25	26	30	32	43	45	43	2	20,29	5,11	5,891666667
15:40	28	31	31	40	41	40	0	20,32	4,89	5,708333333

V.2.3. Cas de capteurs solaire à air avec deux canaux et une épaisseur de 34mm :

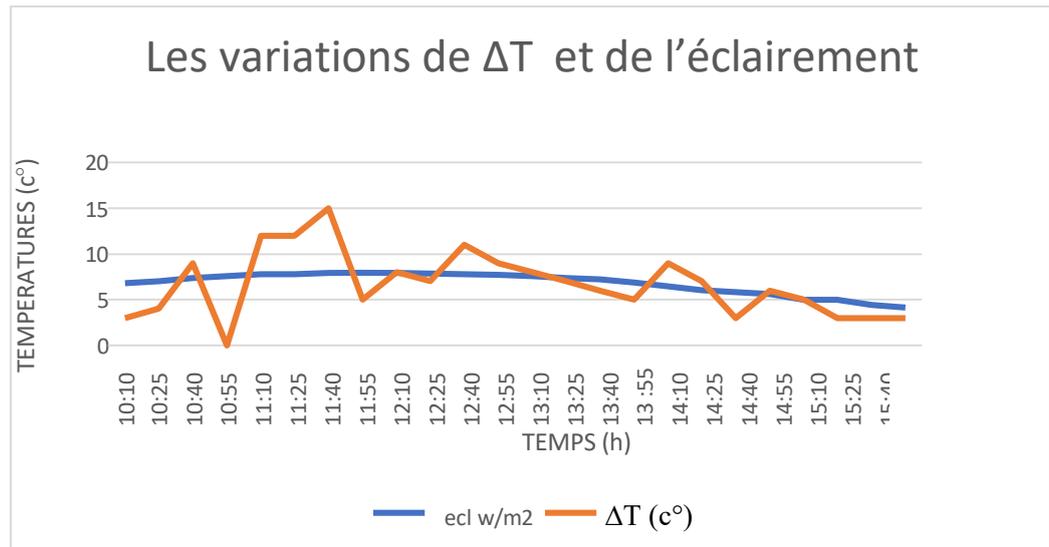
Les résultats expérimentaux présentés sont les mesures en convection naturelle, pour la journée du 27 mai 2024.

Analyse des résultats :

La figure (V-3) représente la variation des températures de sortie et entrée la température ambiante et la différence de température entre l'entrée et la sortie du Capteur en fonction de temps. Nous avons remarqué qu'il y a une variation de température entre la sortie et l'entrée de capteur jusqu'à 15° que montre l'efficacité de capteur.



Figure(V-4) : Les variations des températures on fonction de temps dans le capteur à aire avec deux canaux et épaisseur de 34mm.



Figure(V-5) : les variations de ΔT et de l'éclairement

La figure (V-5) présente les variations de ΔT et de l'éclairement. On peut observer que la courbe de changement de température du panneau suit en fait celle de l'éclairage.

Tableau (V-3) : Les mesure obtenu pour cas de capteurs solaire à air avec deux canaux et une épaisseur de 34 mm

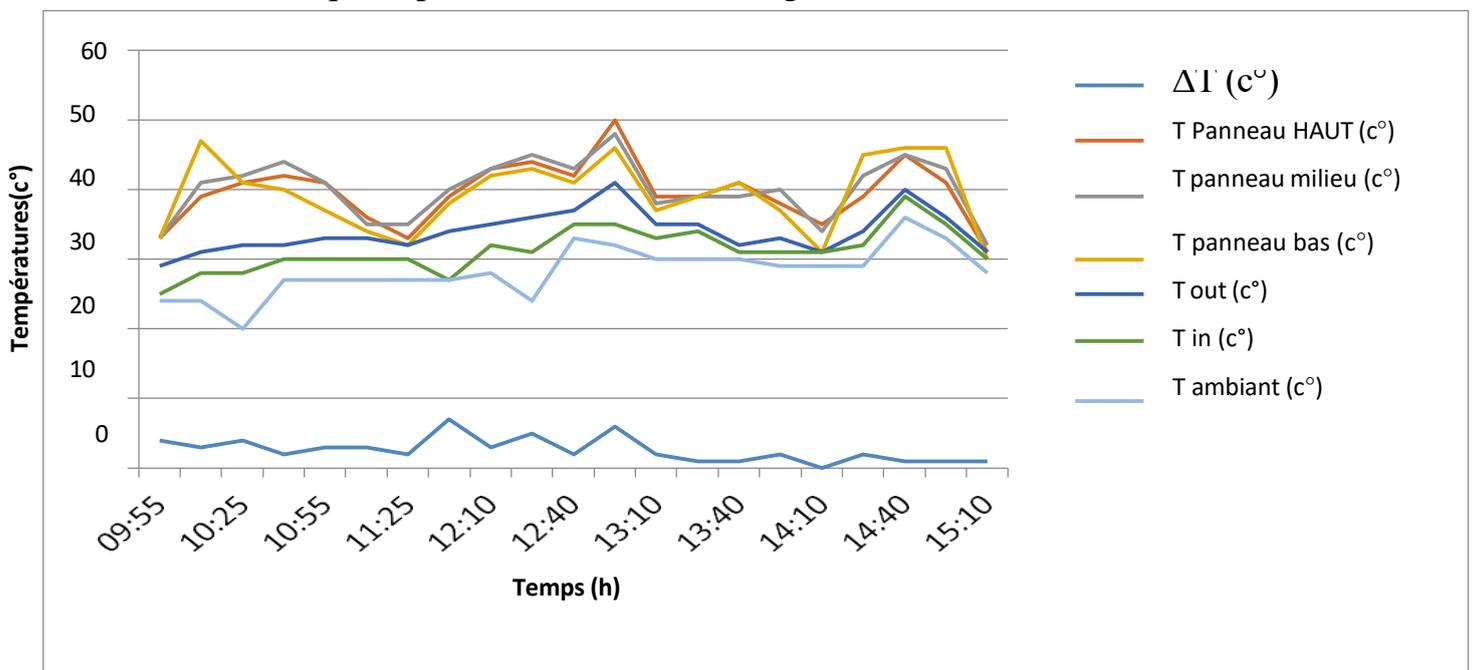
Temps (h°)	T ambient (c°)	T in (c°)	T out (c°)	T Panneau bas (c°)	T Panneau milieu (c°)	T Panneau haut (c°)	ΔT (c°)	Vce (v)	Ico (A)	Eclairment (w/m2)
10:10	28	30	33	38	40	40	3	20,89	6,27	6,808
10:25	29	34	38	49	53	52	4	19,75	6,63	7,066
10:40	32	35	44	54	53	52	9	19,54	6,91	7,4
10:55	31	35	35	52	55	55	0	19,53	7,09	7,5833
11:10	32	38	50	53	57	57	12	19,5	7,34	7,775
11:25	30	36	48	53	53	52	12	19,49	7,37	7,8083
11:40	33	34	49	56	55	55	15	19,59	7,61	7,916
11:55	32	38	43	56	57	59	5	19,53	7,53	7,958
12:10	31	33	41	53	53	53	8	19,66	7,46	7,9
12:25	31	36	43	49	52	51	7	19,72	7,43	7,858
12:40	30	35	46	53	54	54	11	19,73	7,42	7,83
12:55	28	33	42	50	54	54	9	19,68	7,34	7,7166
13:10	31	34	42	49	50	51	8	19,81	7,25	7,625
13:25	28	32	39	49	50	50	7	19,6	6,91	7,375
13:40	32	33	39	53	53	55	6	19,65	6,86	7,2166
13:55	30	35	40	51	52	53	5	19,71	6,51	6,925
14:10	32	36	45	49	52	53	9	19,68	6,09	6,483
14:25	31	34	41	51	52	52	7	19,58	5,82	6,083
14:40	35	35	38	49	50	52	3	19,66	5,61	5,833
14:55	32	36	42	49	52	51	6	19,74	5,32	5,616
15:10	34	35	40	45	46	45	5	19,84	4,49	5,016
15:25	32	33	36	44	45	45	3	19,86	4,4	5
15:40	35	36	39	47	48	48	3	20	3,95	4,44
15:55	32	37	40	41	42	44	3	19,96	3,73	4,166

V.2.4. Cas de capteurs solaire à air avec deux canaux et une épaisseur de 68 mm :

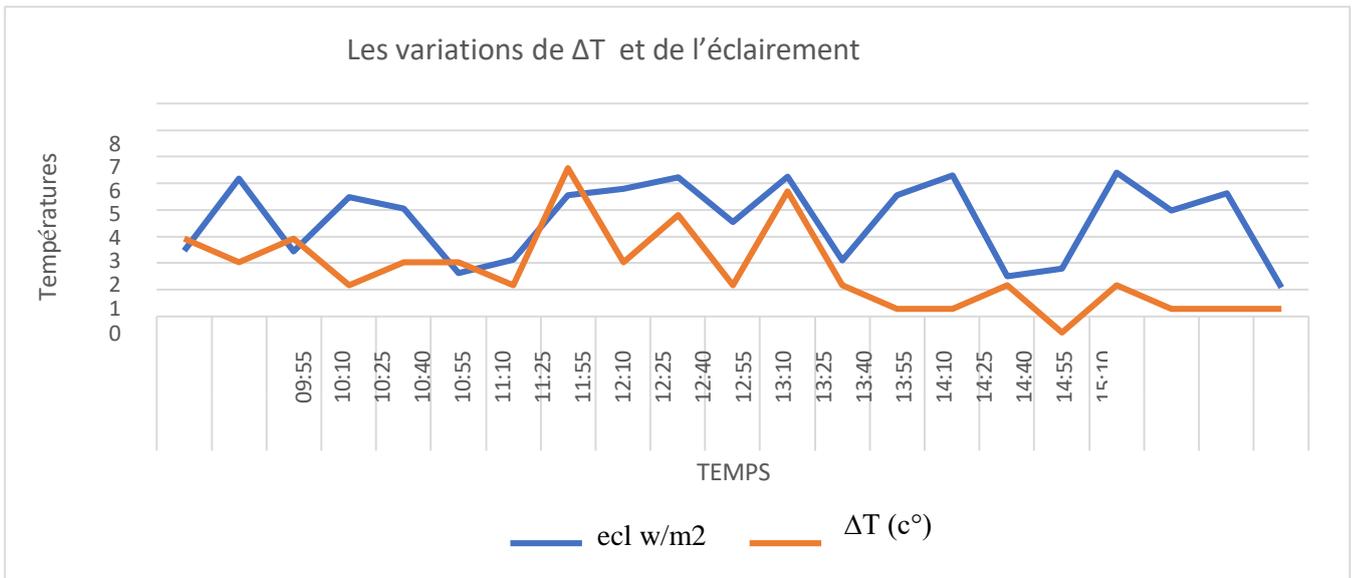
Les résultats expérimentaux présentés sont les mesures en convection naturelle, pour la journée du 23 mai 2024.

Analyse des résultats :

La variation des températures de sortie et d'entrée, ainsi que la température ambiante et la différence de température entre l'entrée et la sortie du Capteur, est illustrée dans la figure (V-6). Il a été observé que la température varie entre la sortie et l'entrée du capteur jusqu'à 7°, ce qui indique que l'efficacité du capteur diminue lorsque l'épaisseur des chicanes augmente.



Figure(V-6) : Les variations des températures on fonction de temps dans le Capteur à aire avec deux canaux et épaisseur de 68mm.



Figure(V-7) : les variations de ΔT et de l'éclairement

La figure (V-7) : représente les variations de ΔT et de l'éclairement On remarque que l'allure de la courbe de la variation de la température du panneau suit Par affaitement celle de l'éclairement

Tableau (V-4) : Les mesure obtenu pour cas de capteurs solaire à air avec deux canaux et une épaisseur de 68 mm

Tableau (V-4) : Les mesure obtenu pour cas de capteurs solaire à air avec deux canaux et une épaisseur de 68 mm

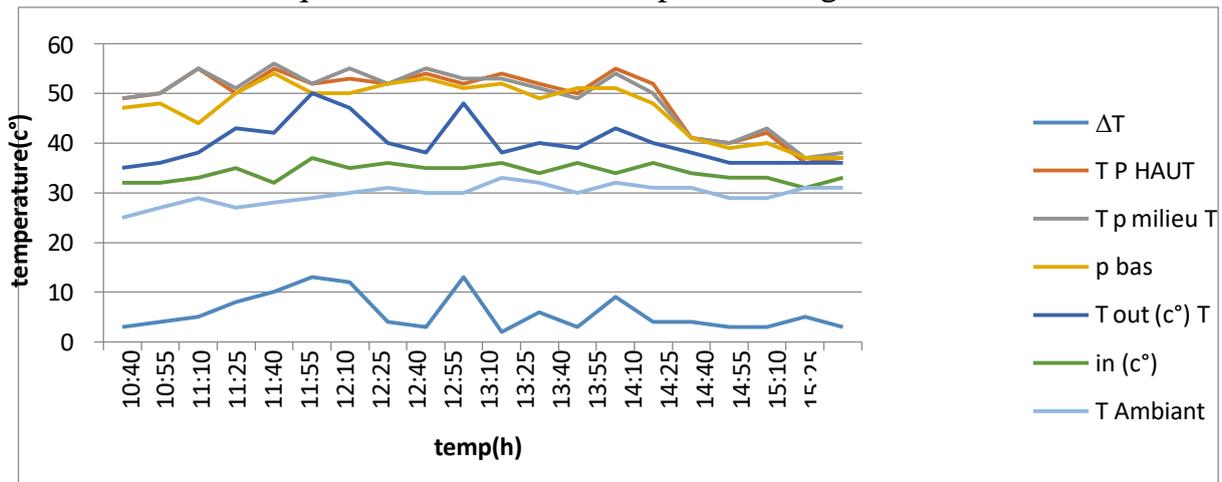
Temp s (h)	T Ambiant (c°)	T In (c°)	T Out (c°)	T Panneau bas (c°)	T Panneau Milieu (c°)	T Panneau haut (c°)	$\Delta T(c^\circ)$	Vce (v)	Ico (A)	Eclairment (w/m2)
09:55	24	25	29	33	33	33	4	20,46	2,76	3,483
10:10	24	28	31	47	41	39	3	20,79	6,04	6,55
10:25	20	28	32	41	42	41	4	20,32	5,34	3,458
10:40	27	30	32	40	44	42	2	20,3	5,1	5,76
10:55	27	30	33	37	41	41	3	20,5	5,59	5,275
11:10	27	30	33	34	35	36	3	20,09	2,43	2,51
11:25	27	30	32	32	35	33	2	20,7	2,87	3,091
11:55	27	27	34	38	40	39	7	20,65	3,86	5,833
12:10	28	32	35	42	43	43	3	20,57	5,25	6,125
12:25	24	31	36	43	45	44	5	20,41	6,36	6,61
12:40	33	35	37	41	43	42	2	20,45	4,18	4,691
12:55	32	35	41	46	48	50	6	20,41	5,97	6,641
13:10	30	33	35	37	38	39	2	20,73	2,94	3,083
13:25	30	34	35	39	39	39	1	20,92	5,93	5,858
13:40	30	31	32	41	39	41	1	20,62	6,62	6,683
13:55	29	31	33	37	40	38	2	20,93	2,73	2,383
14:10	29	31	31	31	34	35	0	20,28	2,55	2,733
14:25	29	32	34	45	42	39	2	20,85	6,58	6,8083
14:40	36	39	40	46	45	45	1	20,53	3,31	5,183
14:55	33	35	36	46	43	41	1	20,55	3,55	5,93
15:10	28	30	31	30	32	31	1	20,31	1,71	1,91

V.2.5. Cas de capteurs solaire à air avec trois canaux et une épaisseur de 34 mm :

Les résultats expérimentaux présentés sont les mesures en convection naturelle, pour la journée du 30 mai 2024.

Analyse des résultats :

La figure (V-8) représente la variation des températures en fonction de temps. Pour un capteur solaire à air avec trois canaux et une épaisseur de 34 mm Nous avons remarqué une variation de températures égale à 13°



Figure(V-8) : Les variations des températures on fonction de temps dans le Capteur à aire avec trois canaux et épaisseur de 34 mm

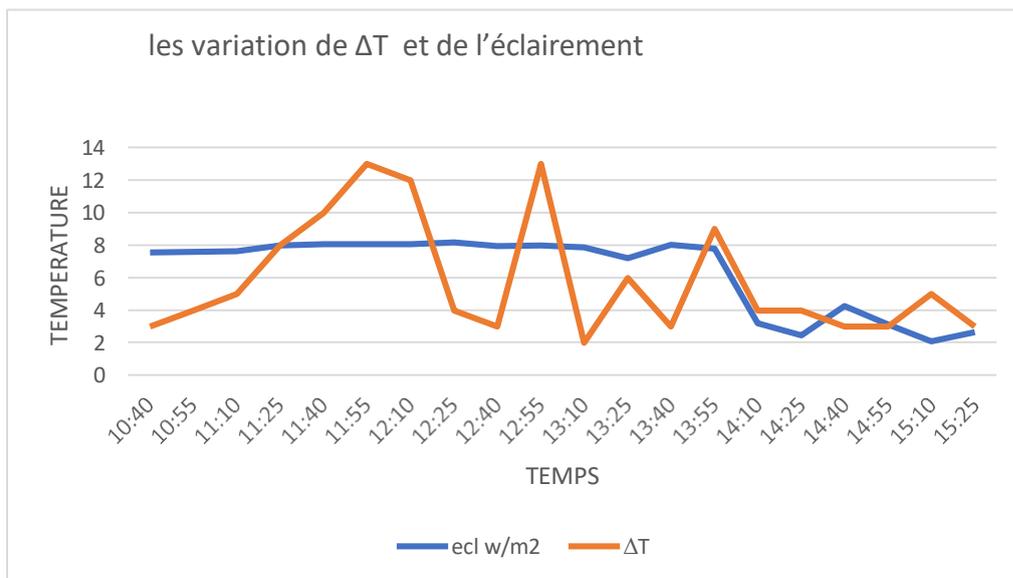


Tableau (V-5) : Les mesure obtenu pour cas de capteurs solaire à air avec trois canaux et une épaisseur de 34 mm

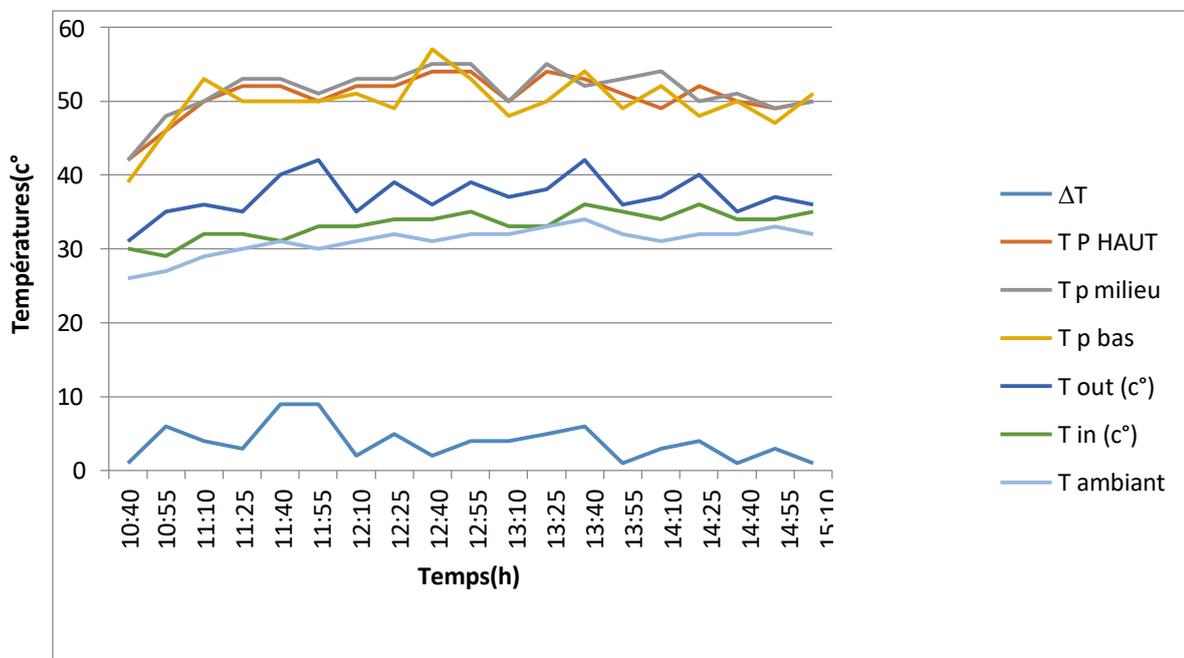
Temps (h)	T emb(c°)	T in (c°)	T out (c°)	T Pane bas (c°)	T Pane milue (c°)	T Pane haut (c°)	$\Delta T(c^\circ)$	vce(v)	Ico (A)	Eclairment (w/m2)
10:40	25	32	35	47	49	49	3	20,26	6,75	7,541666667
10:55	27	32	36	48	50	50	4	20,01	7,02	7,583333333
11:10	29	33	38	44	55	55	5	19,83	7,08	7,625
11:25	27	35	43	50	51	50	8	19,54	7,59	8
11:40	28	32	42	54	56	55	10	19,77	7,48	8,05
11:55	29	37	50	50	52	52	13	19,75	7,53	8,075
12:10	30	35	47	50	55	53	12	19,61	7,6	8,066666667
12:25	31	36	40	52	52	52	4	19,71	7,64	8,175
12:40	30	35	38	53	55	54	3	19,76	7,45	7,958333333
12:55	30	35	48	51	53	52	13	19,64	7,5	8
13:10	33	36	38	52	53	54	2	19,69	7,3	7,875
13:25	32	34	40	49	51	52	6	19,63	7,46	7,2
13:40	30	36	39	51	49	50	3	19,85	7,48	8,016666667
13:55	32	34	43	51	54	55	9	19,41	7,49	7,791666667
14:10	31	36	40	48	50	52	4	19,81	7,74	3,183333333
14:25	31	34	38	41	41	41	4	19,49	2,49	2,433333333
14:40	29	33	36	39	40	40	3	20,33	2,92	4,258333333
14:55	29	33	36	40	43	42	3	19,96	2,83	3,116666667
15:10	31	31	36	37	37	36	5	19,86	1,88	2,083333333
15:25	31	33	36	37	38	37	3	20,45	3,25	2,65

V.2.6. Cas de capteurs solaire à air avec trois canaux et une épaisseur de 68 mm :

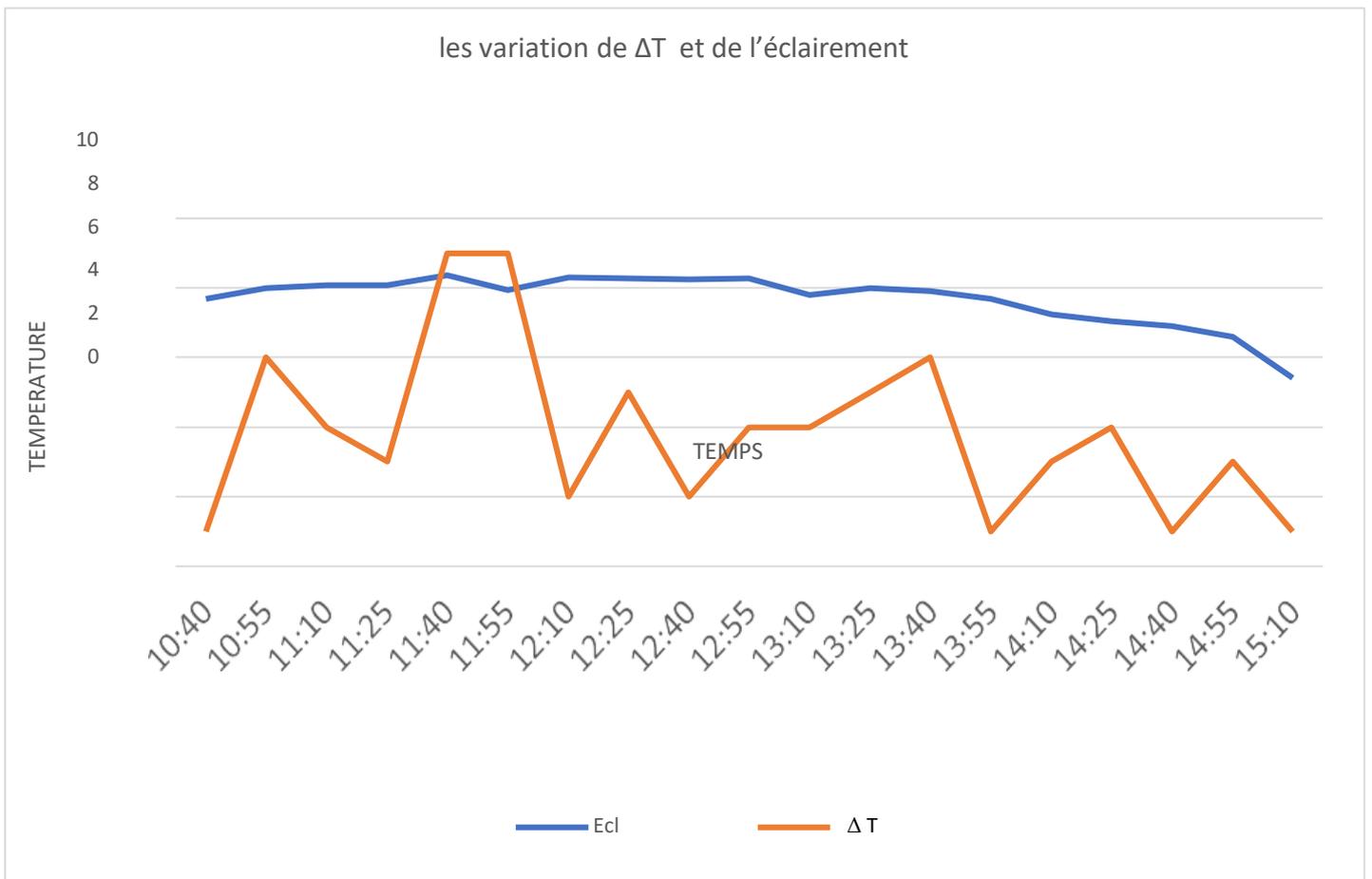
Les résultats expérimentaux présentés sont les mesures en convection naturelle, pour la journée du 1 juin 2024.

Analyse des résultats :

Les températures de sortie et d'entrée, ainsi que la température ambiante et la différence de température entre l'entrée et la sortie du Capteur, varient en fonction du temps dans la figure (V-9). Il a été observé que la température varie entre la sortie et l'entrée du capteur jusqu'à 9°, ce qui indique que l'efficacité du capteur diminue lorsque l'épaisseur des chicanes augmente.



Figure(V-9) : Les variations des températures on fonction de temps dans le Capteur à aire avec trois canaux et épaisseur de 68mm.



Figure(V-10) : les variations de ΔT et de l'éclairement

La figure (V-10) représente : les variations de ΔT et de l'éclairement
On remarque que l'allure de la courbe de la variation de la température du panneau suit parfaitement celle de l'éclairement

Tableau (V-6) : Les mesure obtenu pour cas de capteurs solaire à air avec trois canaux et une épaisseur de 68 mm

Temps (h)	T Ambient (c°)	T in (c°)	T out (c°)	T Panneau bas (c°)	T Panneau milieu (c°)	T Panneau haut (c°)	ΔT (c°)	vce(v)	Ico (A)	Eclairment (w/m2)
10:40	26	30	31	39	42	42	1	20,85	7,13	7,708
10:55	27	29	35	46	48	46	6	20,03	7,44	7,99
11:10	29	32	36	53	50	50	4	19,93	7,53	8,08
11:25	30	32	35	50	53	52	3	19,76	7,61	8,09
11:40	31	31	40	50	53	52	9	19,77	7,74	8,375
11:55	30	33	42	50	51	50	9	19,75	7,7	7,95
12:10	31	33	35	51	53	52	2	19,54	7,85	8,325
12:25	32	34	39	49	53	52	5	19,71	7,78	8,28
12:40	31	34	36	57	55	54	2	19,64	7,74	8,26
12:55	32	35	39	53	55	54	4	19,65	7,76	8,275
13:10	32	33	37	48	50	50	4	19,7	7,58	7,80
13:25	33	33	38	50	55	54	5	19,72	7,54	7,99
13:40	34	36	42	54	52	53	6	19,74	7,44	7,925
13:55	32	35	36	49	53	51	1	19,86	7,21	7,7
14:10	31	34	37	52	54	49	3	20,04	6,73	7,25
14:25	32	36	40	48	50	52	4	20,06	6,62	7,05
14:40	32	34	35	50	51	50	1	20,02	6,36	6,91
14:55	33	34	37	47	49	49	3	20,02	6,03	6,6
15:10	32	35	36	51	50	50	1	20	5,76	5,41

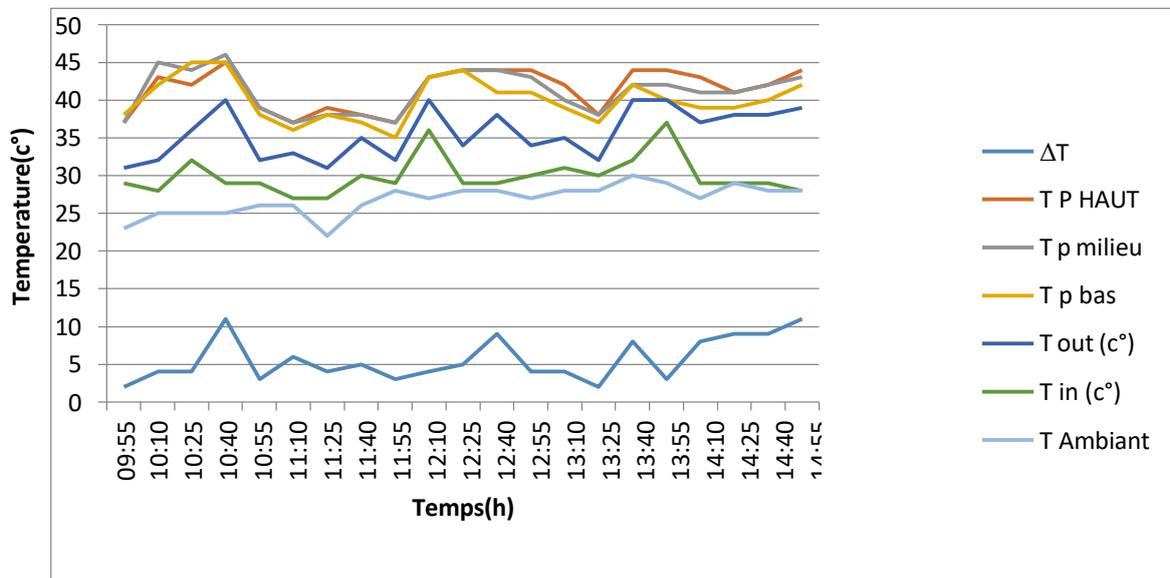
V.2.7. Cas de capteurs solaire à air avec quatre canaux et une épaisseur de 34 mm :

Les résultats expérimentaux présentés sont les mesures en convection naturelle, pour la journée du 2 juin 2024.

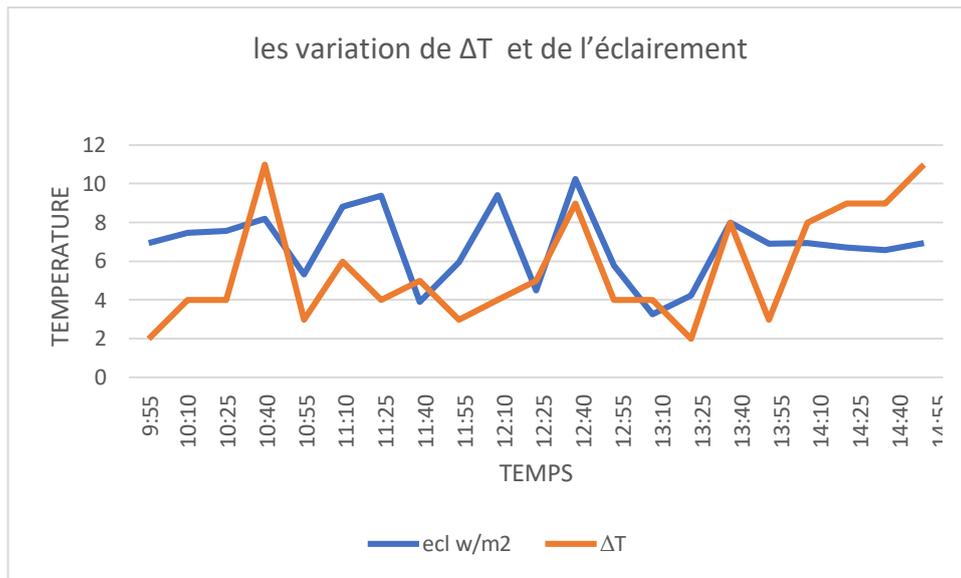
Analyse des résultats :

La figure (V-11) représente la variation des températures en fonction de temps. Pour un capteur solaire à air avec quatre canaux et une épaisseur de 34 mm

Nous avons remarqué une variation de températures entre la sortie et l'entrée de capteur égale à 11°



Figure(V-11) : Les variations des températures on fonction de temps dans le capteur à aire avec quatre canaux et épaisseur de 34 mm.



Figure(V-12) : les variations de ΔT et de l'éclairement

Les fluctuations de ΔT et de l'éclairement sont illustrées dans la figure (V-12). Il est remarqué que la courbe de la variation de la température du panneau suit cette tendance. Tout à fait celle de la lumière.

Tableau (V-7) : Les mesure obtenu pour cas de capteurs solaire à air avec quatre canaux et une épaisseur de 34 mm

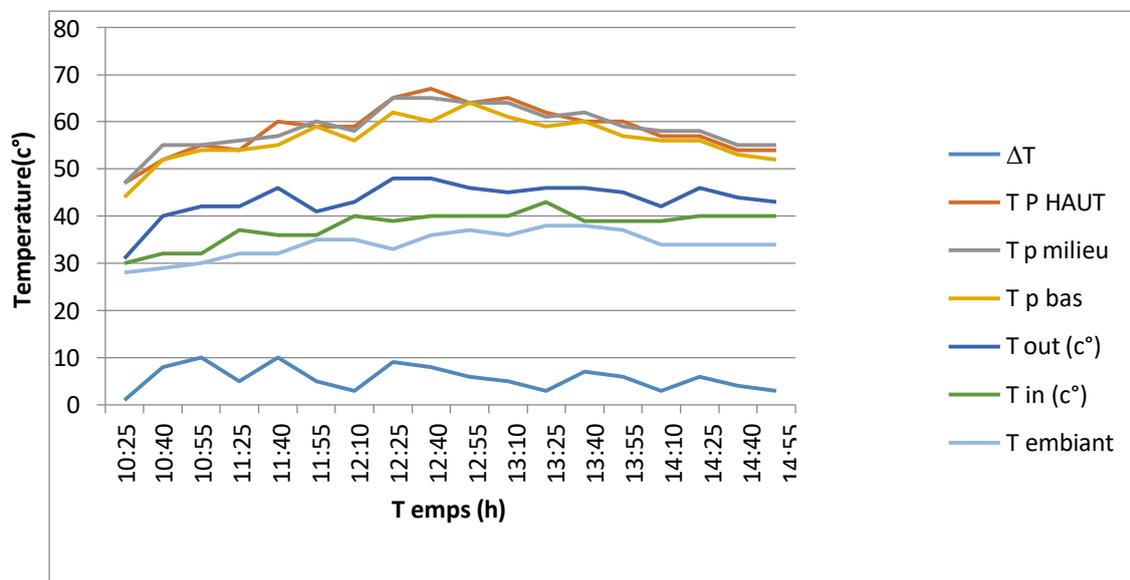
Temps (h)	T ambiant (c°)	T in(c°)	T out(c°)	T Panneau bas (c°)	T Panneau milieu (c°)	T Panneau haut (c°)	ΔT (c°)	Vce (v)	Ico (A)	Eclairment (w/m2)
09:55	23	29	31	38	37	37	2	21,26	6,44	6,95
10:10	25	28	32	42	45	43	4	20,6	6,78	7,45333333
10:25	25	32	36	45	44	42	4	20,37	7,15	7,58333333
10:40	25	29	40	45	46	45	11	20,26	7,7	8,19166667
10:55	26	29	32	38	39	39	3	19,9	3,18	5,33333333
11:10	26	27	33	36	37	37	6	21,11	8,15	8,83333333
11:25	22	27	31	38	38	39	4	20,88	6,3	9,375
11:40	26	30	35	37	38	38	5	19,97	3,41	3,925
11:55	28	29	32	35	37	37	3	20,59	4,38	5,94166667
12:10	27	36	40	43	43	43	4	20,81	9,35	9,41666667
12:25	28	29	34	44	44	44	5	20,33	9,08	4,5
12:40	28	29	38	41	44	44	9	20,52	5,31	10,25
12:55	27	30	34	41	43	44	4	20,07	4,61	5,78333333
13:10	28	31	35	39	40	42	4	20,13	3,04	3,275
13:25	28	30	32	37	38	38	2	20,22	3,72	4,24166667
13:40	30	32	40	42	42	44	8	20,77	8,84	8
13:55	29	37	40	40	42	44	3	20,29	7,01	6,91666667
14:10	27	29	37	39	41	43	8	20,38	6,38	6,93333333
14:25	29	29	38	39	41	41	9	20,34	6,18	6,725
14:40	28	29	38	40	42	42	9	20,43	5,92	6,6
14:55	28	28	39	42	43	44	11	20,29	7,05	6,95

V.2.8. Cas de capteurs solaire à air avec quatre canaux et une épaisseur de 68 mm :

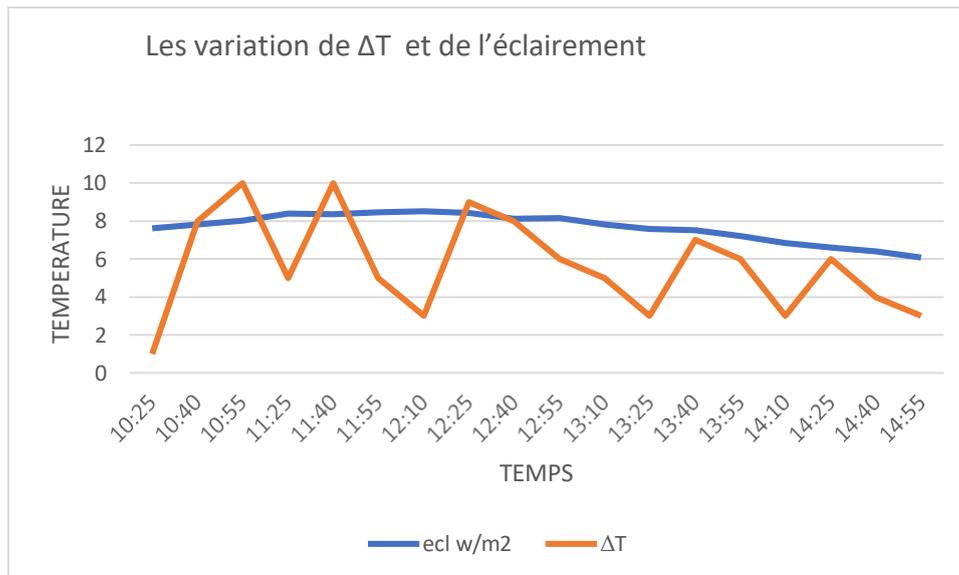
Les résultats expérimentaux présentés sont les mesures en convection naturelle, pour la journée du 3 juin 2024.

Analyse des résultats :

Les températures de sortie et d'entrée, ainsi que la température ambiante et la différence de température entre l'entrée et la sortie du Capteur, varient en fonction du temps dans la figure (V-13). Il a été observé que la température varie entre la sortie et l'entrée du capteur jusqu'à 10°, ce qui indique que l'efficacité du capteur diminue lorsque l'épaisseur des chicanes augmente.



Figure(V-13) : Les variations des températures on fonction de temps dans le capteur à aire avec quatre canaux et épaisseur de 68mm.



Figure(V-14) : Les variations de ΔT et de l'éclairement

La figure (V-14) illustre les fluctuations de ΔT et de l'intensité lumineuse. Il est possible de constater que la courbe de variation de la température du panneau suit en réalité celle de l'éclairage.

Tableau (V-8) : Les mesure obtenu pour cas de capteurs solaire à air avec quatre canaux et une épaisseur de 68 mm

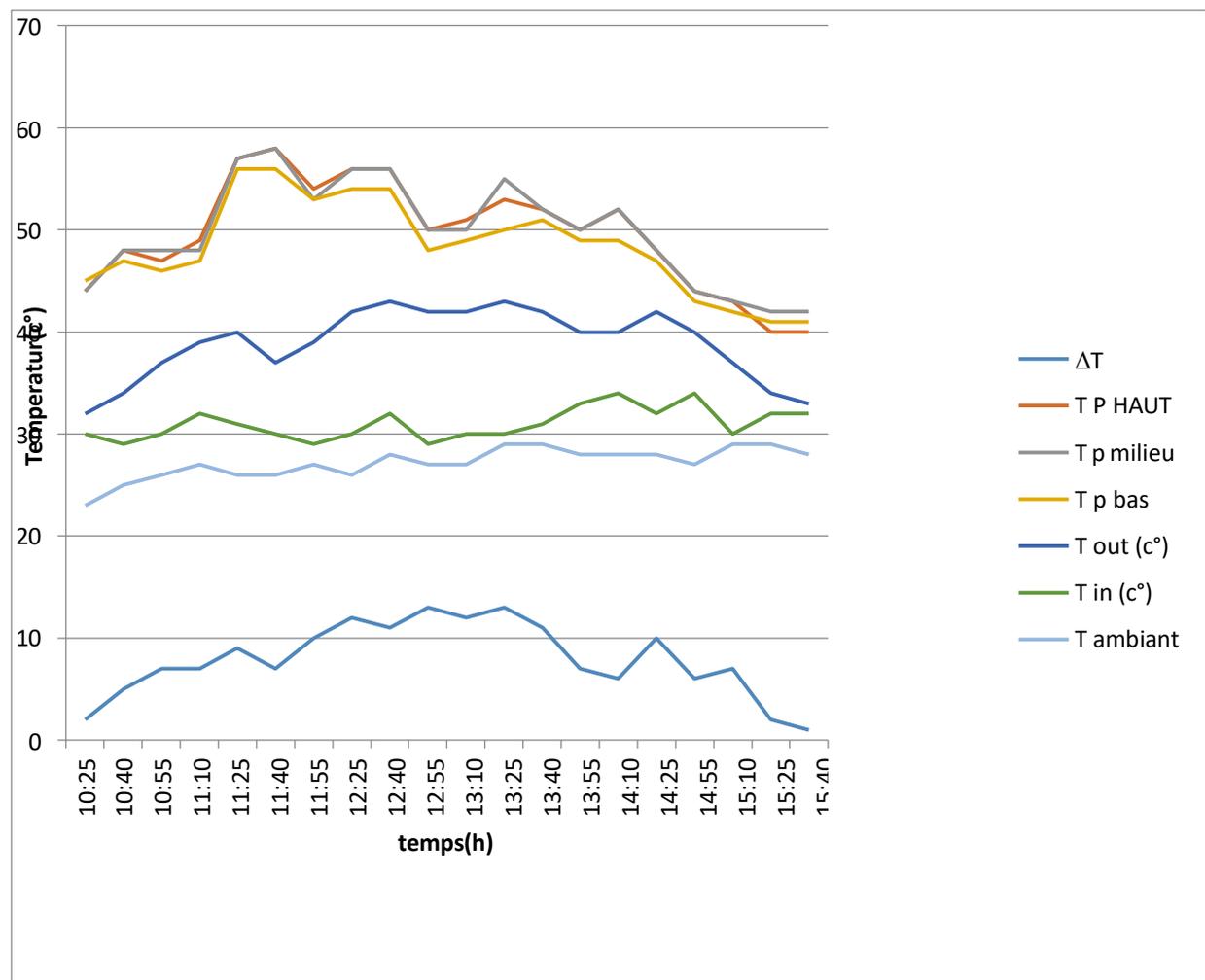
Temps (h)	T Ambient (c°)	T in (c°)	T out (c°)	T Panneau bas (c°)	T Panneau milieu (c°)	T Panneau Haut (c°)	ΔT (c°)	Vce (v)	Ico (A)	Eclairment (w/m2)
10:25	28	30	31	44	47	47	1	20,22	7,09	7,633333333
10:40	29	32	40	52	55	52	8	19,66	7,33	7,816666667
10:55	30	32	42	54	55	55	10	19,47	7,55	8,008333333
11:25	32	37	42	54	56	54	5	19,26	7,93	8,4
11:40	32	36	46	55	57	60	10	19,24	7,97	8,366666667
11:55	35	36	41	59	60	59	5	19,19	7,88	8,466666667
12:10	35	40	43	56	58	59	3	19,23	8,04	8,516666667
12:25	33	39	48	62	65	65	9	19,21	8,01	8,433333333
12:40	36	40	48	60	65	67	8	19,18	7,6	8,125
12:55	37	40	46	64	64	64	6	19,31	7,68	8,15
13:10	36	40	45	61	64	65	5	19,27	7,47	7,833333333
13:25	38	43	46	59	61	62	3	19,28	7,24	7,591666667
13:40	38	39	46	60	62	60	7	19,26	7,16	7,533333333
13:55	37	39	45	57	59	60	6	19,28	6,85	7,216666667
14:10	34	39	42	56	58	57	3	19,33	6,45	6,833333333
14:25	34	40	46	56	58	57	6	19,38	6,18	6,6
14:40	34	40	44	53	55	54	4	19,46	5,96	6,416666667
14:55	34	40	43	52	55	54	3	19,64	5,7	6,083333333

V.2.9. Cas de capteurs solaire à air avec Cinq canaux et une épaisseur de 34 mm :

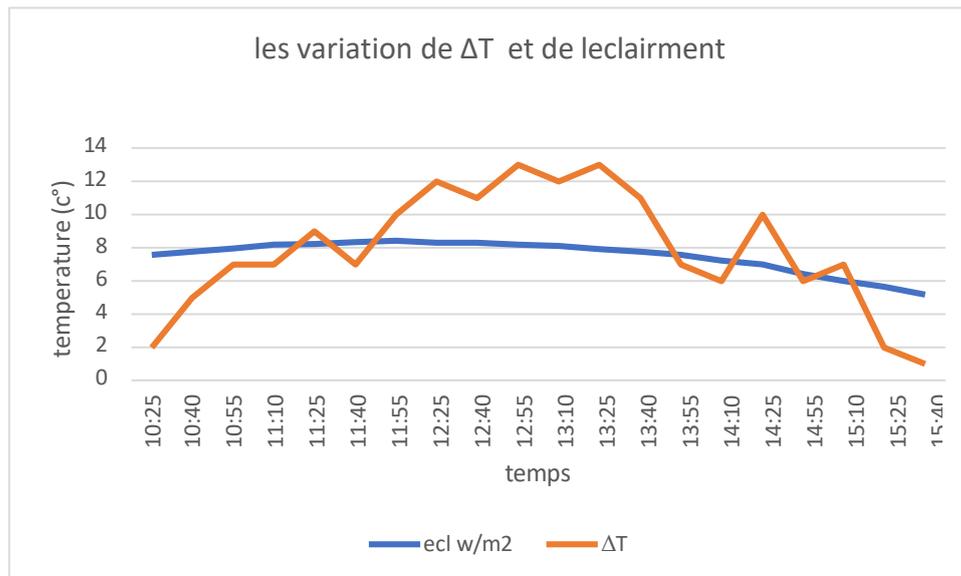
Les résultats expérimentaux présentés sont les mesures en convection naturelle, pour la journée du 4 juin 2024.

Analyse des résultats :

La figure (V-15) représente la variation des températures en fonction de temps. Pour un capteur solaire à air avec Cinq canaux et une épaisseur de 34 mm Nous avons remarqué une variation de températures égale a 13°



Figure(V-15) : Les variations des températures on fonction de temps dans le capteur à aire avec Cinq canaux et épaisseur de 34 mm



Figure(V-16) : Les variations de ΔT et de l'éclairment

La figure (V-16) représente les variations de ΔT et de l'éclairment On remarque que l'allure de la courbe de la variation de la température du panneau suit par- affaitement celle de l'éclairment

Tableau (V-9) : Les mesure obtenu pour cas de capteurs solaire à air avec cinq canaux et une épaisseur de 34 mm

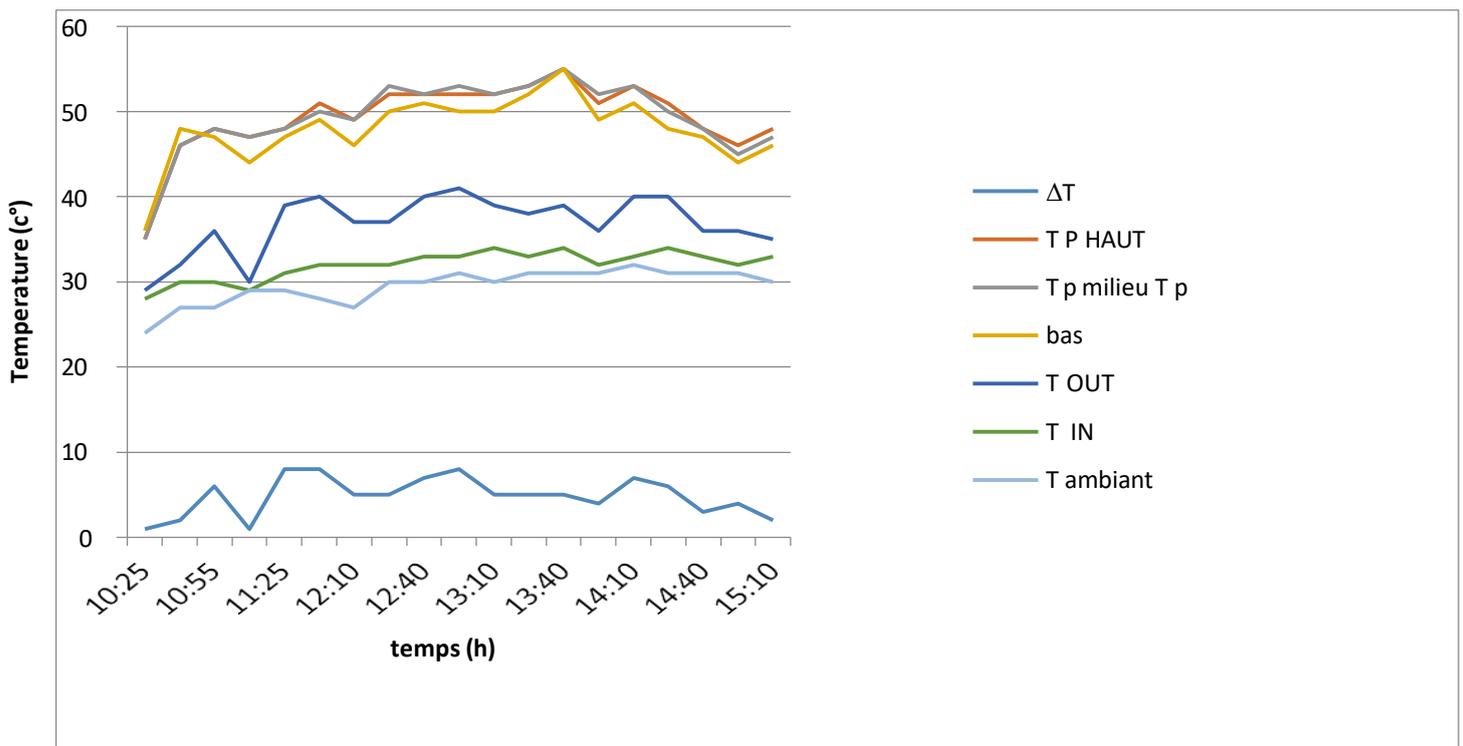
Temps (h)	T ambiant (c°)	T in (c°)	T out (c°)	T Panneau bas (c°)	T Panneau milieu (c°)	T Panneau haut (c°)	ΔT (c°)	Vce (v)	Ico (A)	Eclairement (w/m2)
10:25	23	30	32	45	44	44	2	20,82	6,97	7,558333333
10:40	25	29	34	47	48	48	5	20,37	7,15	7,766666667
10:55	26	30	37	46	48	47	7	20,11	7,4	7,966666667
11:10	27	32	39	47	48	49	7	19,88	7,6	8,166666667
11:25	26	31	40	56	57	57	9	19,81	7,66	8,216666667
11:40	26	30	37	56	58	58	7	19,91	7,79	8,333333333
11:55	27	29	39	53	53	54	10	19,63	7,8	8,416666667
12:25	26	30	42	54	56	56	12	19,8	7,78	8,308333333
12:40	28	32	43	54	56	56	11	19,84	7,76	8,283333333
12:55	27	29	42	48	50	50	13	19,95	7,63	8,166666667
13:10	27	30	42	49	50	51	12	19,98	7,51	8,1
13:25	29	30	43	50	55	53	13	20,1	7,41	7,916666667
13:40	29	31	42	51	52	52	11	20,02	7,24	7,75
13:55	28	33	40	49	50	50	7	19,49	6,98	7,558333333
14:10	28	34	40	49	52	52	6	19,87	6,62	7,216666667
14:25	28	32	42	47	48	48	10	20,22	6,46	7
14:55	27	34	40	43	44	44	6	20,25	5,83	6,425
15:10	29	30	37	42	43	43	7	20,31	5,28	5,975
15:25	29	32	34	41	42	40	2	20,333	4,87	5,633333333
15:40	28	32	33	41	42	40	1	20,38	4,45	5,166666667

V.2.10. Cas de capteurs solaire à air avec cinq canaux et une épaisseur de 68 mm :

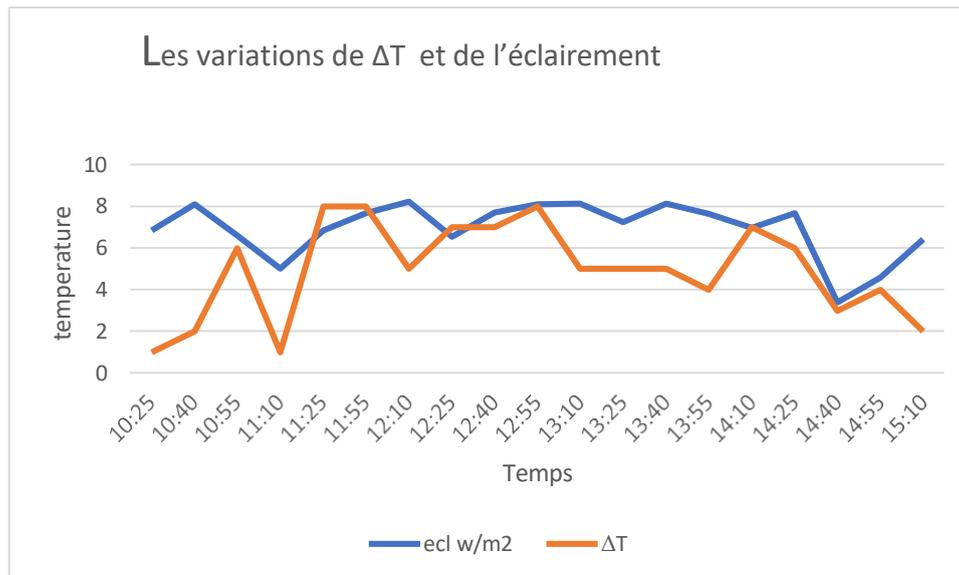
Les résultats expérimentaux présentés sont les mesures en convection naturelle, pour la journée du 7 juin 2024.

Analyse des résultats :

Les températures de sortie et d'entrée, ainsi que la température ambiante et la différence de température entre l'entrée et la sortie du Capteur, varient en fonction du temps dans la figure (V-10). Il a été observé que la température varie entre la sortie et l'entrée du capteur jusqu'à 8°, ce qui indique que l'efficacité du capteur diminue lorsque l'épaisseur des chicanes augmente.



Figure(V-17) : Les variations des températures on fonction de temps dans le capteur à aire avec cinq canaux et épaisseur de 68mm.



Figure(V-18) : Les variations de ΔT et de l'éclairement

La figure (V-18) représente les variations de ΔT et de l'éclairement. On remarque que l'allure de la courbe de la variation de la température du panneau suit parfaitement celle de l'éclairement.

Tableau (V-9) : Les mesure obtenu pour cas de capteurs solaire à air avec cinq canaux et une épaisseur de 68 mm

Temps (h)	T ambiant (c°)	Tin (c°)	T out (c°)	T panneau bas(c°)	T panneau milieu (c°)	T panneau haut (c°)	ΔT (c°)	Vce (v)	Ico (A)	Eclairment (w/m2)
10:25	24	28	29	36	35	35	1	20,82	5,6	6,858333333
10:40	27	30	32	48	46	46	2	20,39	7,42	8,116666667
10:55	27	30	36	47	48	48	6	19,85	6,35	6,616666667
11:10	29	29	30	44	47	47	1	19,9	5,29	5,025
11:25	29	31	39	47	48	48	8	20,3	5,84	6,85
11:55	28	32	40	49	50	51	8	19,8	7,12	7,691666667
12:10	27	32	37	46	49	49	5	19,98	7,44	8,233333333
12:25	30	32	37	50	53	52	5	19,84	6,04	6,541666667
12:40	30	33	40	51	52	52	7	20,05	7,52	7,725
12:55	31	33	41	50	53	52	8	19,85	7,99	8,1
13:10	30	34	39	50	52	52	5	19,92	7,81	8,141666667
13:25	31	33	38	52	53	53	5	19,72	6,8	7,25
13:40	31	34	39	55	55	55	5	20,08	7,64	8,15
13:55	31	32	36	49	52	51	4	19,98	7,11	7,658333333
14:10	32	33	40	51	53	53	7	19,92	6,81	6,975
14:25	31	34	40	48	50	51	6	20,23	6,38	7,683333333
14:40	31	33	36	47	48	48	3	20,07	5,5	3,383333333
14:55	31	32	36	44	45	46	4	20,27	5,03	4,583333333
15:10	30	33	35	46	47	48	2	20,34	5,08	6,408333333

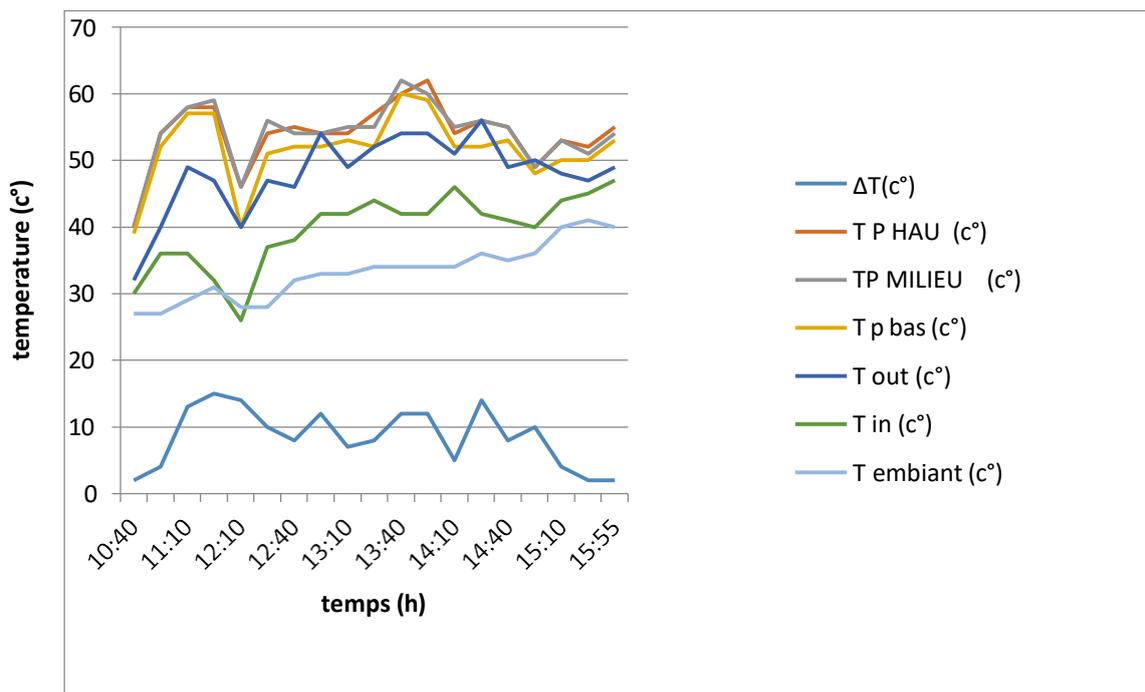
V.2.11. Cas de capteurs solaire à air avec six canaux et une épaisseur de 34 mm :

Les résultats expérimentaux présentés sont les mesures en convection naturelle, pour la journée du 8 juin 2024.

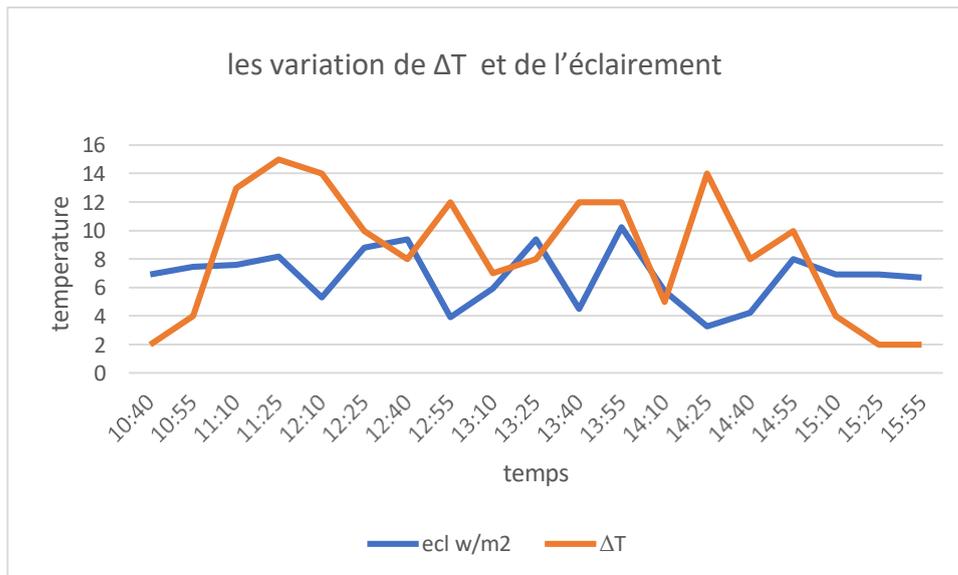
Analyse des résultats :

La figure (V-11) représente la variation des températures en fonction de temps. Pour un capteur solaire à air avec six canaux et une épaisseur de 34 mm

Nous avons remarqué une variation plus importante que le capteur avec 5 canaux égale à 15 °



Figure(V-19) : Les variations des températures on fonction de temps dans le capteur à aire avec six canaux et épaisseur de 34mm.



Figure(V-20) : les variations de ΔT et de l'éclairement

La figure (V-20) représente les variations de ΔT et de l'éclairement. On remarque que l'allure de la courbe de la variation de la température du panneau suit parfaitement celle de l'éclairement.

Tableau (V-10) : Les mesure obtenu pour cas de capteurs solaire à air avec six canaux et une épaisseur de 34 mm

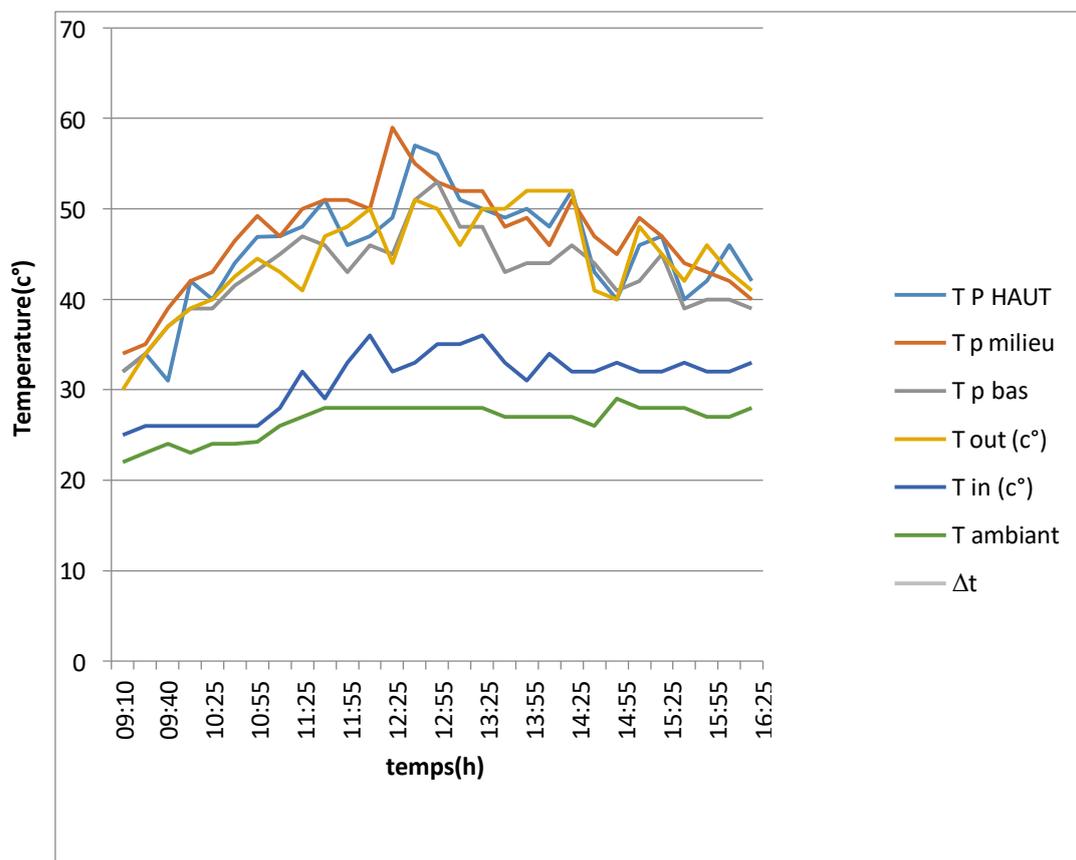
Temps (c°)	T ambiant (c°)	T in (c°)	T out (c)	T panneau bas(c°)	T Panneau milieu (c°)	T Panneau haut (c°)	ΔT (c°)	Vce (c°)	Ico (A)	éclairement w/m2
10:40	27	30	32	39	40	40	2	20,9	7,41	6,95
10:55	27	36	40	52	54	54	4	19,86	7,72	7,453
11:10	29	36	49	57	58	58	13	20,37	7,82	7,5833
11:25	31	32	47	57	59	58	15	19,52	7,86	8,1917
12:10	28	26	40	40	46	46	14	19,62	8,39	5,33
12:25	28	37	47	51	56	54	10	19,49	8,21	8,83
12:40	32	38	46	52	54	55	8	19,53	8,09	9,375
12:55	33	42	54	52	54	54	12	19,56	7,85	3,925
13:10	33	42	49	53	55	54	7	19,5	7,75	5,9667
13:25	34	44	52	52	55	57	8	19,61	7,6	9,47
13:40	34	42	54	60	62	60	12	19,52	7,49	4,5
13:55	34	42	54	59	60	62	12	19,6	7,09	10,25
14:10	34	46	51	52	55	54	5	19,55	6,97	5,733
14:25	36	42	56	52	56	56	14	19,58	6,77	3,275
14:40	35	41	49	53	55	55	8	19,68	6	4,2467
14:55	36	40	50	48	49	49	10	19,72	5,93	8
15:10	40	44	48	50	53	53	4	19,89	5,52	6,967
15:25	41	45	47	50	51	52	2	19,9	5,12	6,9333
15:55	40	47	49	53	54	55	2	19,86	4,7	6,725

V.2.12. Cas de capteurs solaire à air avec sept canaux et une épaisseur de 34mm :

Les résultats expérimentaux présentés sont les mesures en convection naturelle, pour la journée du 9 juin 2024.

Analyse des résultats :

Les températures de sortie et d'entrée, ainsi que la température ambiante et la différence de température entre l'entrée et la sortie du Capteur, varient en fonction du temps dans la figure (V-21). Il a été observé que la température varie considérablement entre la sortie et l'entrée du capteur, atteignant jusqu'à 21°, ce qui entraîne le refroidissement du panneau solaire photovoltaïque.



Figure(V-21) : Les variations des températures on fonction de temps dans le capteur à aire avec sept canaux et épaisseur de 34 mm.

Tableau (V-11) : Les mesure obtenu pour cas de capteurs solaire à air avec sept canaux et une épaisseur de 34 mm

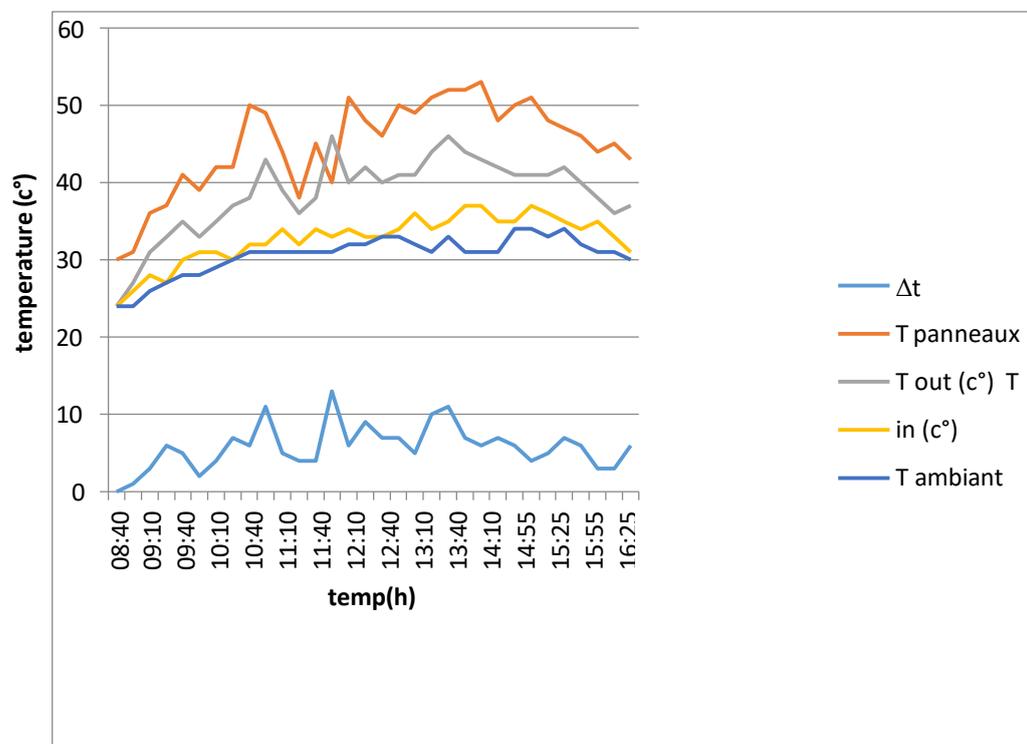
Temps (h)	T Ambient (c°)	T in (c°)	T out (c°)	T Panneau bas (c°)	T Panneau milieu (c°)	T panneau haut(c°)	Vce (v)	Ico (A)	ΔT (c°)
09:10	22	25	30	32	34	32	21,43		5
09:25	23	26	34	34	35	34	21,00		8
09:40	24	26	37	37	39	31	20,83		11
10:10	23	26	39	39	42	42	20,70		13
10:25	24	26	40	39	43	40	20,60		14
10:40	24	26	42,5	41,5	46,5	44	21,01		16,5
10:55	24,2	26	44,5	43,2	49,2	46,9	20,83		18,5
11:10	26	28	43	45	47	47	20,41	7,78	15
11:25	27	32	41	47	50	48	20,24	7,92	9
11:40	28	29	47	46	51	51	20,08	8,08	18
11:55	28	33	48	43	51	46	19,98	8,15	15
12:10	28	36	50	46	50	47	19,88	8,28	14
12:25	28	32	44	45	59	49	20,07	8,42	12
12:40	28	33	51	51	55	57	19,86	8,33	18
12:55	28	35	50	53	53	56	19,88	8,28	15
13:10	28	35	46	48	52	51	20,05	8,37	11
13:25	28	36	50	48	52	50	19,95	8,45	14
13:40	27	33	50	43	48	49	20,14	8,62	17
13:55	27	31	52	44	49	50	20,02	8,30	21
14:10	27	34	52	44	46	48	19,93	8,69	18
14:25	27	32	52	46	51	52	20,06	7,59	20
14:40	26	32	41	44	47	43	20,18	7,01	9
14:55	29	33	40	41	45	40	20,17	6,94	7
15:10	28	32	48	42	49	46	20,16	6,62	16
15:25	28	32	45	45	47	47	20,20	6,15	13
15:40	28	33	42	39	44	40	20,23	5,84	9
15:55	27	32	46	40	43	42	20,31	5,30	14
16:10	27	32	43	40	42	46	20,41	4,63	11
16:25	28	33	41	39	40	42	20,31	4,43	8

V.2.13. Cas de capteurs solaire à air avec sept canaux et une épaisseur de 68 mm :

Les résultats expérimentaux présentés sont les mesures en convection naturelle, pour la journée du 10 juin 2024.

Analyse des résultats :

Les températures de sortie et d'entrée, ainsi que la température ambiante et la différence de température entre l'entrée et la sortie du Capteur, varient en fonction du temps dans la figure (V-22). Il a été observé que la température varie entre la sortie et l'entrée du capteur jusqu'à 13°, ce qui indique que l'efficacité du capteur diminue lorsque l'épaisseur des chicanes augmente.



Figure(V-22) : Les variations des températures on fonction de temps dans le capteur à aire avec sept canaux et épaisseur de 68mm.

Tableau (V-12) : Les mesure obtenu pour cas de capteurs solaire à air avec sept canaux et une épaisseur de 68 mm

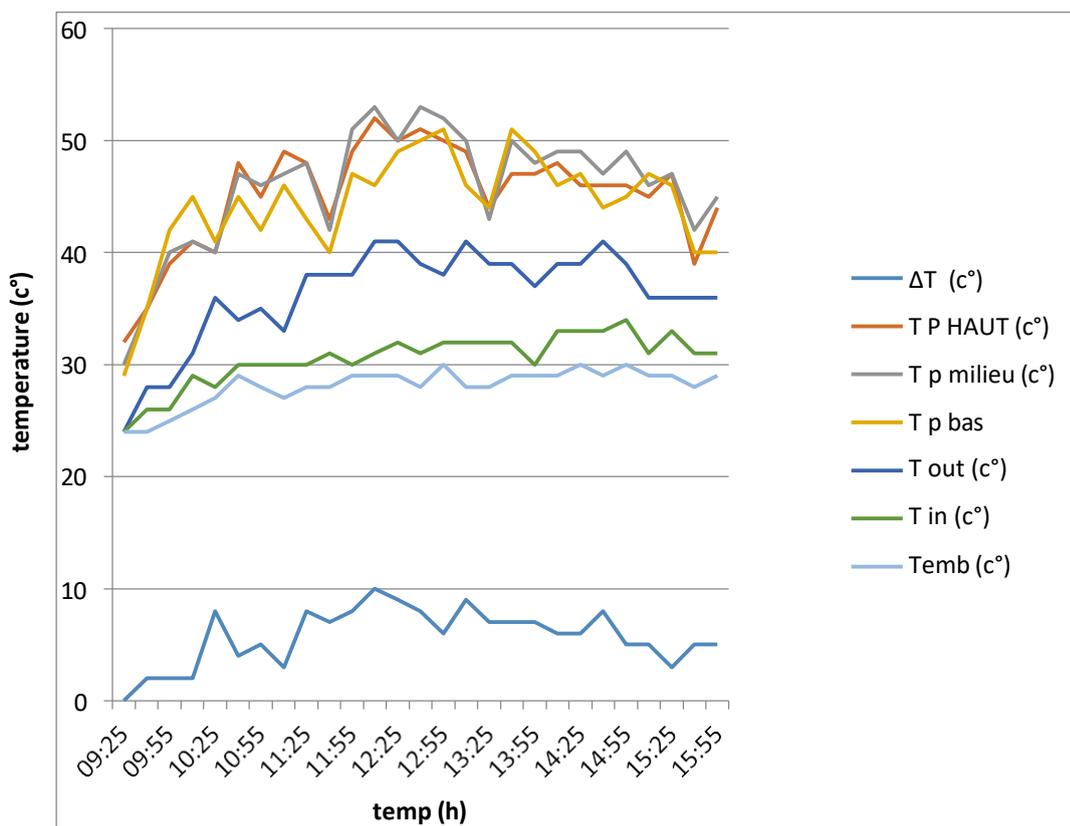
temps (h)	T ambient (c°)	T in (c°)	T out (c°)	T panneaux (c°)	ΔT (c°)
08:40	24	24	24	30	0
08:55	24	26	27	31	1
09:10	26	28	31	36	3
09:25	27	27	33	37	6
09:40	28	30	35	41	5
09:55	28	31	33	39	2
10:10	29	31	35	42	4
10:25	30	30	37	42	7
10:40	31	32	38	50	6
10:55	31	32	43	49	11
11:10	31	34	39	44	5
11:25	31	32	36	38	4
11:40	31	34	38	45	4
11:55	31	33	46	40	13
12:10	32	34	40	51	6
12:25	32	33	42	48	9
12:40	33	33	40	46	7
12:55	33	34	41	50	7
13:10	32	36	41	49	5
13:25	31	34	44	51	10
13:40	33	35	46	52	11
13:55	31	37	44	52	7
14:10	31	37	43	53	6
14:40	31	35	42	48	7
14:55	34	35	41	50	6
15:10	34	37	41	51	4
15:25	33	36	41	48	5
15:40	34	35	42	47	7
15:55	32	34	40	46	6
16:10	31	35	38	44	3
16:25	31	33	36	45	3
16:40	30	31	37	43	6

V.2.14. Cas de capteurs solaire à air avec sept canaux et une épaisseur de 112 mm :

Les résultats expérimentaux présentés sont les mesures en convection naturelle, pour la journée du 11 juin 2024.

Analyse des résultats :

Les températures de sortie et d'entrée, ainsi que la température ambiante et la différence de température entre l'entrée et la sortie du Capteur, varient en fonction du temps dans la figure (V-23). Il a été observé que la température varie entre la sortie et l'entrée du capteur jusqu'à 10°, ce qui indique que l'efficacité du capteur diminue lorsque l'épaisseur des chicanes augmente.



Figure(V-23) : Les variations des températures on fonction de temps dans le capteur à aire avec sept canaux et épaisseur de 112 mm.

Tableau (V-13) : Les mesure obtenu pour cas de capteurs solaire à air avec sept canaux et une épaisseur de 112 mm

temps (h)	T ambiant (c°)	T in (c°)	T out (c°)	T pan bas (c°)	T pan milieu (c°)	T pan haut (c°)	ΔT (c°)	vice(v)
09:25	24	24	24	29	30	32	0	21,05
09:40	24	26	28	35	35	35	2	21,05
09:55	25	26	28	42	40	39	2	20,86
10:10	26	29	31	45	41	41	2	20,66
10:25	27	28	36	41	40	40	8	20,19
10:40	29	30	34	45	47	48	4	20,53
10:55	28	30	35	42	46	45	5	20,70
11:10	27	30	33	46	47	49	3	20,23
11:25	28	30	38	43	48	48	8	20,55
11:40	28	31	38	40	42	43	7	20,55
11:55	29	30	38	47	51	49	8	20,36
12:10	29	31	41	46	53	52	10	20,37
12:25	29	32	41	49	50	50	9	20,15
12:40	28	31	39	50	53	51	8	20,18
12:55	30	32	38	51	52	50	6	20,15
13:10	28	32	41	46	50	49	9	20,12
13:25	28	32	39	44	43	44	7	20,04
13:40	29	32	39	51	50	47	7	20,12
13:55	29	30	37	49	48	47	7	20,15
14:10	29	33	39	46	49	48	6	20,16
14:25	30	33	39	47	49	46	6	20,03
14:40	29	33	41	44	47	46	8	20,25
14:55	30	34	39	45	49	46	5	20,20
15:10	29	31	36	47	46	45	5	20,35
15:25	29	33	36	46	47	47	3	20,40
15:40	28	31	36	40	42	39	5	20,47
15:55	29	31	36	40	45	44	5	20,52

V.2.15. Comparaison entre les ΔT :

La figure (IV-24) illustre le changement de température au fil du temps. Il a été Observé que le capteur à air équipé de 7 canaux et d'une épaisseur de canaux de 34 mm présente la variation de température la plus significative entre la sortie et L'entrée.

Il est également observé que plus on en a. Réduire la quantité de canaux. Dans le Cas d'un capteur à six canaux, une variation de température de 15° a été mesurée, Ce qui montre une diminution de l'efficacité du capteur.

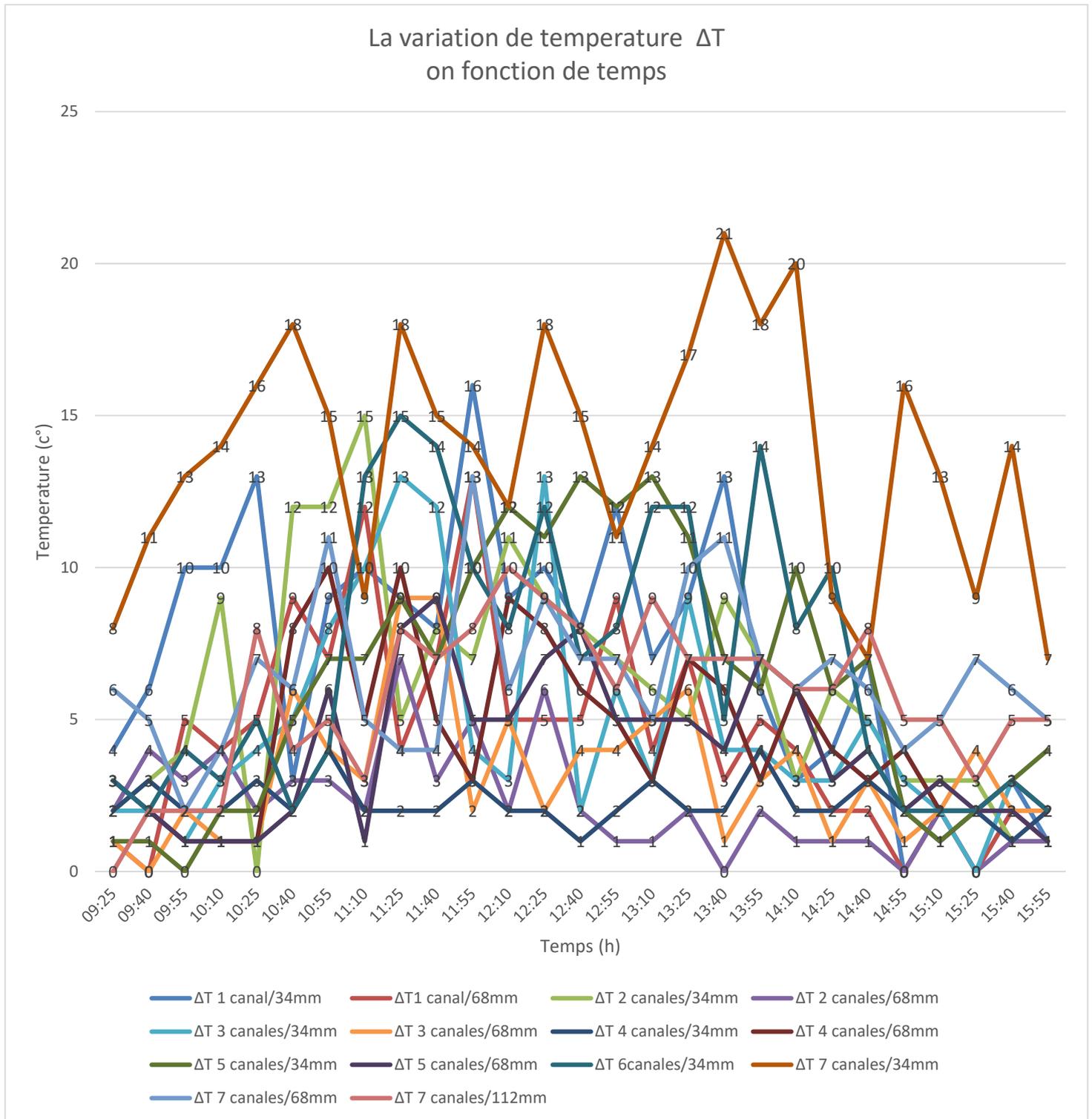
En outre, pour le cas d'un capteur comportant 5 canaux, une variation de 13° a été calculée. Il en va de même pour l'autre capteur.

Il est possible de déduire que le nombre de canaux à un impact sur l'efficacité du capteur.

Il est observé que lorsque l'épaisseur des chicane augmente, la variation de températures entre l'entrée et la sortie du capteur augmente également. En diminuant, On a observé une variation de température de 21 ° pour le capteur à air avec 7 canaux Et une épaisseur de chicane gale de 34 mm. De plus, on a observé une variation de température de 13 ° pour le même capteur avec une épaisseur de canaux de 68 mm, Et de 10 ° pour le même capteur avec une épaisseur de 112 mm. Donc L'épaisseur des canaux a un impact sur l'efficacité du capteur.

Tableau (V-14) : Les variations des Δt on fonction de températures dans le Capteur à aire

Temps (h)	Δt 1/34 Mm	Δt 1/68 mm	Δt 2/34 mm	Δt 2/68 mm	Δt 3/34 mm	Δt 3/68 mm	Δt 4/34 mm	Δt 4/68 mm	Δt 5/34 mm	Δt 5/68 mm	Δt 6/34 mm	Δt 7/34 mm	Δt 7/68 mm	Δt 7/112 mm
09:25	4	1	2	2	2	1	2	3	1	3	3	8	6	0
09:40	6	0	3	4	2	0	3	2	1	2	2	11	5	2
09:55	10	5	4	3	1	2	2	1	0	1	4	13	2	2
10:10	10	4	9	4	3	1	2	1	2	1	3	14	4	2
10:25	13	5	0	2	4	1	3	1	2	1	5	16,5	7	8
10:40	3	9	12	3	5	6	2	8	5	2	2	18,5	6	4
10:55	9	7	12	3	8	4	4	10	7	6	4	15	11	5
11:10	10	12	15	2	10	3	2	5	7	1	13	9	5	3
11:25	9	4	5	7	13	9	2	10	9	8	15	18	4	8
11:40	8	7	8	3	12	9	2	5	7	9	14	15	4	7
11:55	16	13	7	5	4	2	3	3	10	5	10	14	13	8
12:10	9	5	11	2	3	5	2	9	12	5	8	12	6	10
12:25	10	5	9	6	13	2	2	8	11	7	12	18	9	9
12:40	8	5	8	2	2	4	1	6	13	8	7	15	7	8
12:55	12	9	7	1	6	4	2	5	12	5	8	11	7	6
13:10	7	4	6	1	3	5	3	3	13	5	12	14	5	9
13:25	9	7	5	2	9	6	2	7	11	5	12	17	10	7
13:40	13	3	9	0	4	1	2	6	7	4	5	21	11	7
13:55	6	5	7	2	4	3	4	3	6	7	14	18	7	7
14:10	3	4	3	1	3	4	2	6	10	6	8	20	6	6
14:25	4	2	6	1	3	1	2	4	6	3	10	9	7	6
14:40	7	2	5	1	5	3	3	3	7	4	4	7	6	8
14:55	0	0	3	0	3	1	2	4	2	2	2	16	4	5
15:10	2	2	3	2	2	2	1	2	1	3	2	13	5	5
15:25	2	0	3	0	0	4	2	2	2	2	2	9	7	3
15:40	3	2	1	1	3	2	1	3	3	2	3	14	6	5
15:55	1	1	1	1	2	2	2	2	4	1	2	7	5	5



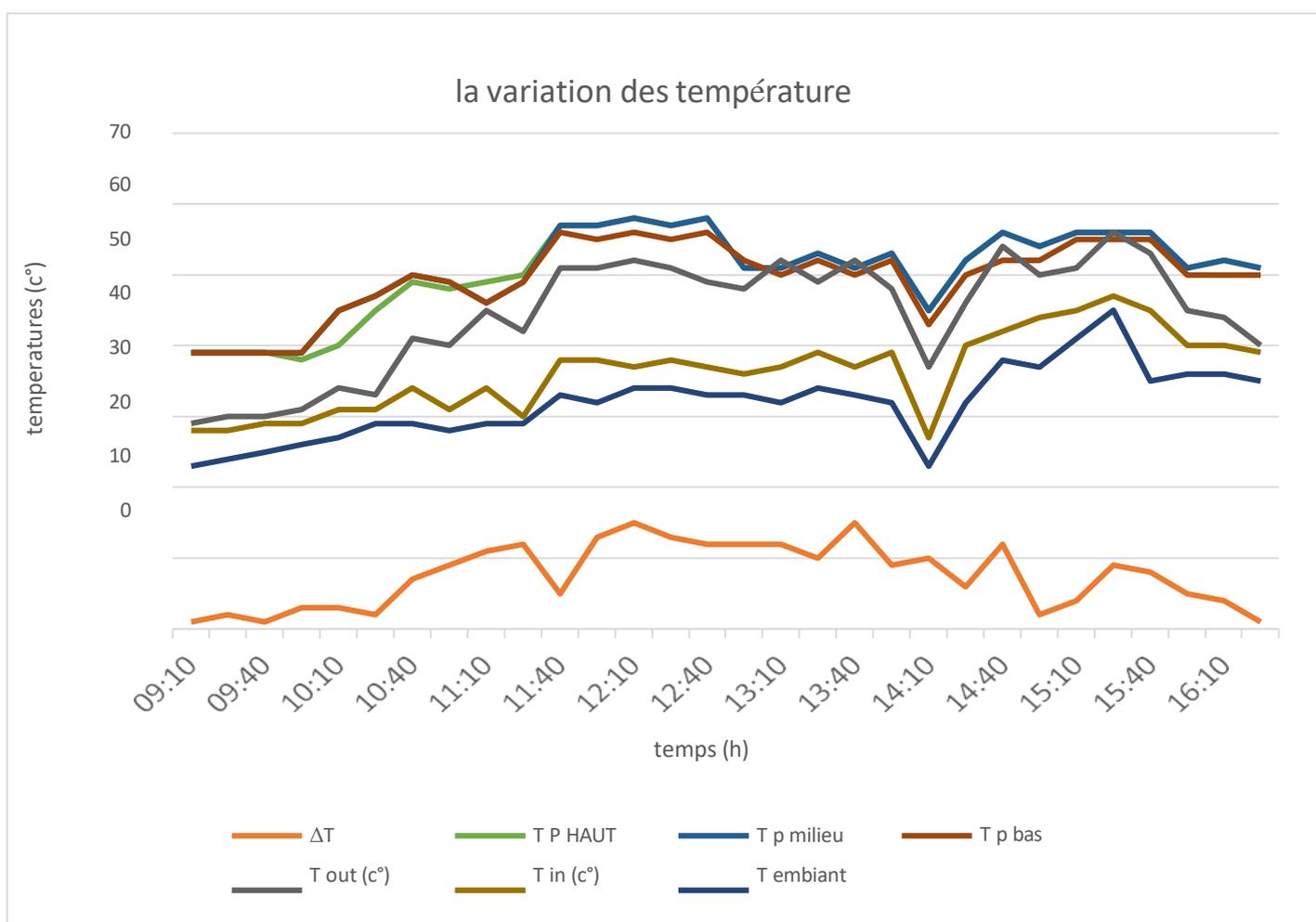
Figure(V-24) : Les variations des ΔT on fonction de temps

V.3. Cas de capteurs solaire à air on bois :

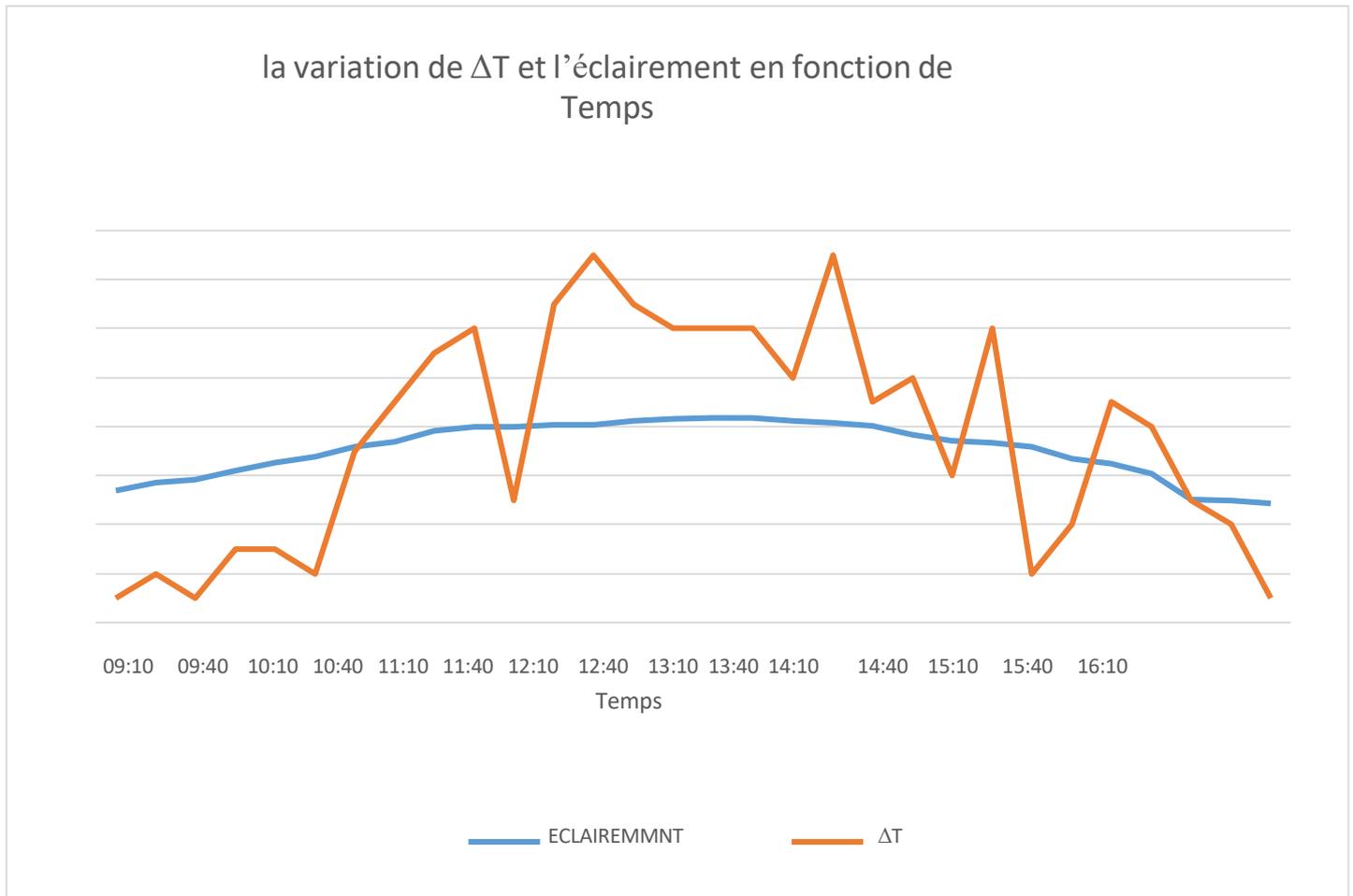
Analyse des résultats :

Les résultats expérimentaux présentés sont les mesures en convection naturelle, pour la journée du 25 juin 2024.

La figure (V-25) représente la variation des températures de sortie et entrée la température ambiante et la déferéce de température entre l'entrée et la sortie du Capteur en fonction de temps pour un capteur a air on bois. Nous avons remarqué qu'il y a une variation de température entre la sortie et l'entrée de capteur jusqu'à 15° que montre que la matière de capteur influence sur leur efficacité



Figure(V-25) : Les variations des températures on fonction de temps dans le capteur à air on bois avec une canal et épaisseur de 34 mm



Figure(V-26) : La variation de ΔT et l'éclairement en fonction de temps dans le capteur à air on bois avec une canal et épaisseur de 34 mm

La figure (V-26) représente La variation de ΔT et l'éclairement en fonction de temps dans le capteur à air on bois avec une canal et épaisseur de 34 mm On remarque que l'allure de la courbe de la variation de la température du panneau suit parfaitement celle de l'éclairement

Tableau (V-15) : Les mesure obtenu pour cas de capteurs solaire à air avec sept canaux et une épaisseur de 112 mm

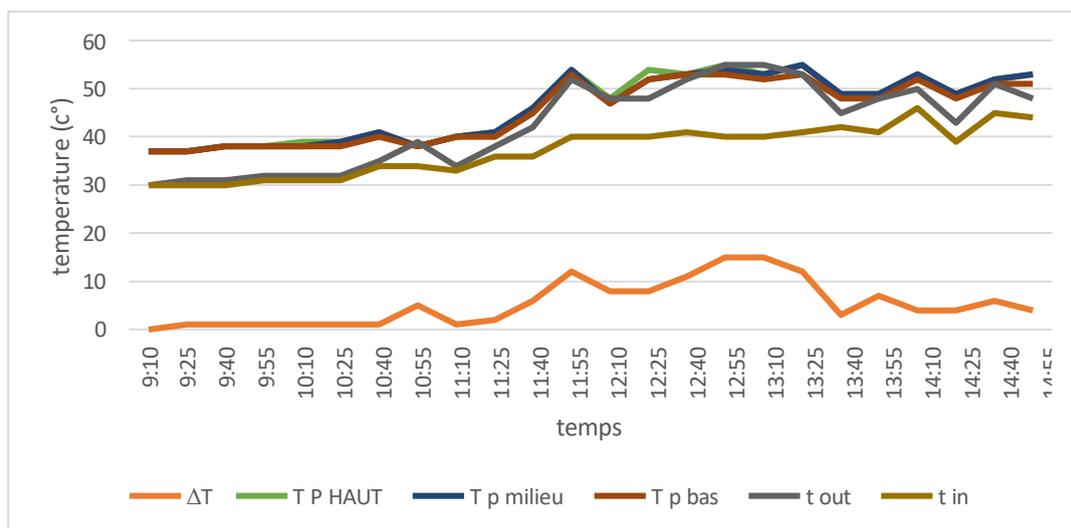
Temps (h)	T Ambient (c°)	T in (c°)	T out (c°)	T panneau bas (c°)	T panneau milieu (c°)	T Panneau HAUT (c°)	Vce (v)	Ico (A)	ΔT (c°)	éclairage w/m2
09:10	23	28	29	39	39	39	21,5	5	1	5,416667
09:25	24	28	30	39	39	39	21,25	5,25	2	5,708333
09:40	25	29	30	39	39	39	21,2	5,3	1	5,833333
09:55	26	29	31	39	39	38	21,13	5,37	3	6,208333
10:10	27	31	34	45	45	40	20,52	5,75	3	6,55
10:25	29	31	33	47	47	45	20,22	6,07	2	6,791667
10:40	29	34	41	50	50	49	20,11	6,49	7	7,166667
10:55	28	31	40	49	49	48	20,08	6,77	9	7,391667
11:10	29	34	45	46	46	49	19,93	7,21	11	7,825
11:25	29	30	42	49	49	50	19,68	7,4	12	7,991667
11:40	33	38	51	56	57	57	19,64	7,46	5	8,008333
11:55	32	38	51	55	57	57	19,65	7,57	13	8,091667
12:10	34	37	52	56	58	58	19,62	7,65	15	8,075
12:25	34	38	51	55	57	57	19,61	7,72	13	0,082583
12:40	33	37	49	56	58	58	19,54	7,76	12	8,333333
12:55	33	36	48	52	51	51	19,58	7,77	12	8,35
13:10	32	37	52	50	51	51	19,55	7,79	12	8,358333
13:25	34	39	49	52	53	53	19,64	7,66	10	8,241667
13:40	33	37	52	50	51	51	19,63	7,6	15	8,166667
13:55	32	39	48	52	53	53	19,65	7,5	9	8,041667
14:10	23	27	37	43	45	45	19,8	7,08	10	7,666667
14:25	32	40	46	50	52	52	19,83	6,9	6	7,433333
14:40	38	42	54	52	56	56	19,83	6,76	12	7,333333
14:55	37	44	50	52	54	54	19,9	6,5	2	7,166667
15:10	41	45	51	55	56	56	19,95	6,03	4	6,691667
15:25	45	47	56	55	56	56	19,95	6,01	9	6,491667
15:40	35	45	53	55	56	56	19,98	5,5	8	6,083333
15:55	36	40	45	50	51	51	20,01	5,01	5	5,025
16:10	36	40	44	50	52	52	20,12	5	4	5
16:25	35	39	40	50	51	51	20,35	4,85	1	4,875

V.4. Cas de capteurs solaire à air on aluminium avec des chicanes horizontales :

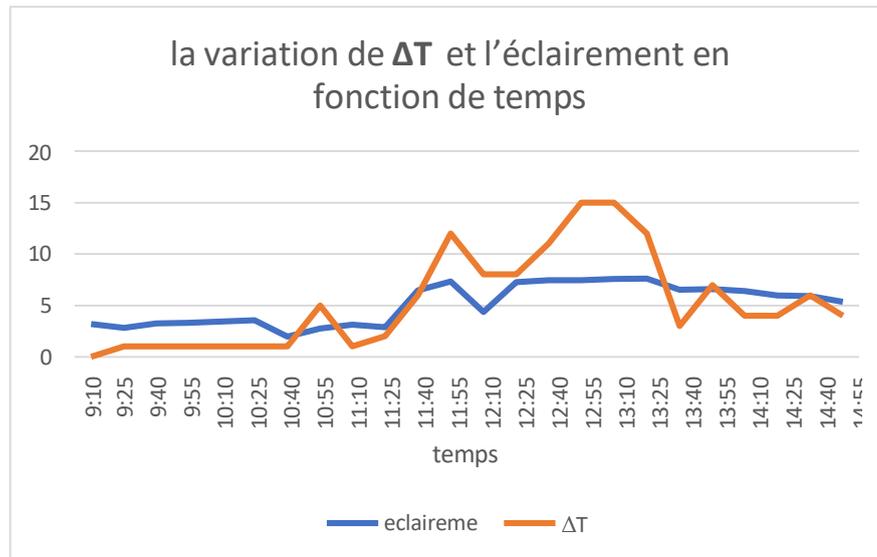
Les résultats expérimentaux présentés sont les mesures en convection naturelle, pour la journée du 26 juin 2024.

Analyse des résultats :

Les températures de sortie et d'entrée, ainsi que la température ambiante et la différence de température entre l'entrée et la sortie du capteur, sont représentées dans la figure (V-27) pour un capteur à air en aluminium avec des chicanes verticales. Il a été observé que la température varie entre la sortie et l'entrée du capteur jusqu'à 15°, ce qui démontre que la structure des chicanes (le déplacement du fluide en forme de serpent) a un impact sur l'efficacité du capteur.



Figure(V-27) : Les variations des températures on fonction de temps dans le capteur à air on aluminium avec des canaux vertical d'épaisseur de 34 mm



Figure(V-28) : La variation de ΔT et l'éclairement en fonction de temps dans le capteur à air on bois avec une canaux et épaisseur de 34 mm

La figure (V-28) représente La variation de ΔT et l'éclairement en fonction de temps dans le capteur à air on bois avec une canaux et épaisseur de 34 mm On remarque que l'allure de la courbe de la variation de la température du panneau suit parfaitement celle de l'éclairement

Tableau (V-16) : Les mesure obtenu pour cas de capteurs solaire à air avec Canaux horizontales et une épaisseur de 34 mm

Temps (h)	T Ambient (c°)	T in (c°)	T out (c°)	T panneau bas (c°)	T panneau mil (c°)	T Panneau HAUT (c°)	Vce (v)	Ico (A)	ΔT (c°)	éclairage w/m2
09:10	27	30	30	37	37	37	20,5	3,03	0	3,19667
09:25	28	30	31	37	37	37	20,43	3,33	1	2,91667
09:40	28	30	31	38	38	38	20,38	2,85	1	3,25
09:55	29	31	32	38	38	38	20,3	2,5	1	3,33333
10:10	29	31	32	38	38	39	20,29	2,6	1	3,45333
10:25	29	31	32	38	39	39	20,23	3,98	1	3,58333
10:40	32	34	35	40	41	41	19,37	1,91	1	1,95333
10:55	32	34	39	38	38	38	19,95	2,14	5	2,75
11:10	33	33	34	40	40	40	20,51	3,03	1	3,14667
11:25	33	36	38	40	41	41	20,51	3,5	2	2,89667
11:40	35	36	42	45	46	46	20,65	5,01	6	6,5
11:55	36	40	52	53	54	54	20,06	6,95	12	7,35333
12:10	35	40	48	47	47	48	19,79	4,87	8	4,35
12:25	35	40	48	52	52	54	19,8	6,82	8	7,3
12:40	36	41	52	53	53	53	19,81	6,76	11	7,44667
12:55	36	40	55	53	54	55	19,72	6,96	15	7,475
13:10	37	40	55	52	53	53	19,81	7,1	15	7,575
13:25	38	41	53	53	55	55	19,75	7,02	12	7,625
13:40	37	42	45	48	49	49	19,82	6,37	3	6,55333
13:55	37	41	48	48	49	49	19,87	6,25	7	6,58333
14:10	37	46	50	52	53	53	19,92	5,98	4	6,4
14:25	37	39	43	48	49	49	19,95	5,75	4	6
14:40	39	45	51	51	52	52	20,01	5,71	6	5,94167
14:55	38	44	48	51	53	53	20,04	5,09	4	5,33333

V.5. Conclusion :

À partir des tests préliminaires effectués sur le panneau thermique et le panneau photovoltaïque, il est possible de conclure que leur état de fonctionnement optimal permet de les combiner pour créer le panneau solaire hybride PVT. On peut également tirer la conclusion que le nombre de canaux dans un capteur à air est crucial pour garantir une efficacité fiable dans notre étude. Le capteur à air avec 7 canaux (8 chicanes) est le meilleur choix, avec une variation de température de 21°.

En ce qui concerne l'épaisseur des chicanes, il est observé que plus l'épaisseur augmente, plus l'efficacité du capteur diminue, entraînant une réduction de la grèse de la lame d'air dans le capteur à air. Dans notre étude, les capteurs les plus efficaces sont ceux avec des chicanes d'épaisseur de 34 mm.

La composition du matériau du capteur joue un rôle dans la fiabilité du capteur à air dans un système pvt.

La position des chicanes dans le capteur ainsi que la manière dont le fluide caloporteur circule (direct ou serpentin) ont un impact sur les capacités du capteur dans un système hybride thermique-photovoltaïque. On a mesuré une variation de température de 15° dans notre capteur lorsque le fluide caloporteur circule en serpentine.

Conclusion générale :

L'objectif de cette étude est d'améliorer les performances d'un capteur photovoltaïque en utilisant un système PVT photovoltaïque/thermique avec un capteur à air. Un bon échange thermique entre le fluide caloporteur (air), le capteur photovoltaïque et le capteur à air est primordial. L'accent est mis principalement sur la circulation du fluide caloporteur, la taille des chicane et le nombre de canaux pour un capteur à air pour améliorer les performances. L'influence de la matière de capteur a également été étudiée. On a également examiné l'impact de la position des chicane sur l'efficacité du capteur à air en ce qui concerne leur capacité.

Le chapitre I : Grâce à la revue bibliographique, il a été possible de présenter les Principales recherches menées par les chercheurs dans ce domaine, Notamment en Algérie.

Le chapitre II : étude théorique sur les capteurs à air que nous avons permis de connaître les différents types de capteur à air leur utilisation.

Le chapitre III : porte sur l'énergie photovoltaïque les composés d'un système photovoltaïque les performances et les types de ce système.

Le chapitre IV : porte sur la réalisation de capteurs hybrides PVT. Le chapitre V : porte les résultats de notre étude.

Les résultats indiquent que notre configuration satisfait largement aux objectifs définis (refroidissement d'un panneau solaire avec un capteur à air (système PVT/Thermique)), Tout d'abord, nous avons examiné l'impact du nombre de chicane dans un capteur à air sur son efficacité. Il a été constaté que plus le nombre de canaux augmente, plus l'efficacité du capteur augmente en fonction de la pression exercée sur le fluide Caloporteur (air) dans le capteur à air.

Par la suite, nous avons observé l'impact de la taille des chicane sur l'efficacité du capteur. On a conclu que plus l'épaisseur des chicane dans le capteur augmente, plus la variation de températures entre la sortie et l'entrée du capteur est élevée. Réduire en raison de l'impact de la lame d'air.

On a réalisé une autre étude sur la matière du capteur à air et son impact sur l'efficacité du capteur à air dans un système PVT/Thermique, en utilisant du bois. Les résultats sont encourageants avec une variation de température significative, mais moins importante que les résultats obtenus pour un capteur à air en aluminium. Cela est dû aux performances physiques de l'aluminium, ce qui en fait les matériaux les plus appropriés pour un capteur à air.

On a étudié aussi l'influence de la position des chicane (circulation du fluide Caloporteur) les résultats sont insatisfaisants

REFERANCES:

- [1]. Flat-plate PV-Thermal collectors and systems: A review. ZONDAG H. A. 2005, Renewable and Sustainable Energy Reviews.
- [2]. ZONDAG H. A., BAKKER M., HELDEN W. G. J. PV/T Roadmap-a European guide for the development and market introduction of PV-Thermal technology. s.l.: Rapport EU-Project PV - Catapult, 2005. p. 87.
- [3]. Performance analyses of combined heating and photovoltaic power systems for residences. WOLF M. 1-2, 1976, Energy Conversion, Vol. 16, pp. 79-90.
- [4]. Combined photovoltaic and thermal hybrid collector systems. KERN E. C., RUSSELL M. C. Washington DC: s.n., 1978, Proceeding of 13th IEEE Photovoltaic Specialists, pp. 1153-1157.
- [5]. Photovoltaic/thermal collector development program, HENDRIE S. D. Etats- Unis: Massachusetts Institute of Technology: s.n., 1982, Rapport final.
- [6]. Analytical predictions of liquid and air photovoltaic/thermal flat -platz collector performance. RAGHURAMAN P. 2, 1981, Journal Solar Energy Engineering, Vol. 103, pp. 291-298.
- [7]. Design considerations for flat-plate photovoltaic thermal collectors. COX C. H., RAGHURAMAN P. 3, 1985, Solar Energy, Vol. 35, pp. 227-241.
- [8]. A hybrid amorphous silicon photovoltaic and thermal solar collector. LALOVIC B., KISS Z., WEAKLIEM H. 2, 1986, Solar Cells, Vol. 19, pp. 131-138.
- [9]. Hybrid PV/T systems with dual heat extraction operation. TRIPANAGNOSTOPOULOS Y. TZAVELLAS D., et al. Munich, Allemagne: s.n., 2001, Proceedings of the 17th European PV Solar Energy Conference, pp. 2515-2518.
- [10]. Annual exergy evaluation on photovoltaic-thermal hybrid collector. FUJISAWA T., TANI T. 1-4, 1997, Solar Energy Materials and Solar Cells, Vol. 47, pp. 135-148.
- [11]. A photovoltaic/thermal (PV/T) collector with polymer absorber plate experimental study and analytical model. SANDNES B., REKSTAD J. 3, 2002, Solar Energy, Vol. 37, pp. 63-73.
- [12]. Performance analysis of photovoltaic-thermal collector by explicit dynamic model. CHOW T. T. 2003, Solar Energy, Vol. 75, pp. 143-152.
- [13]. Model calculations on a flat-plate solar heat collector with integrated solar cells. BERGENE T., LOVVIK O. M. 6, 1995, Solar Energy, Vol. 55, pp. 453-462.
- [14]. Energy performance of water hybrid PV/T collectors applied to combi systems of Direct Solar Floor type. FRAISSE G., MENEZO C., JOHANNES K. 11, 2007, Solar Energy, Vol. 81, pp. 1426-1438.
- [15]. Performance evaluation of photovoltaic thermosyphon system for subtropical climate application, CHOW T.T., HE W., JI J., et al. 2007, Solar Energy, Vol. 81, pp. 123-130.

- [16]. Hybrid photovoltaic-thermosyphon water heating system for residential application. CHOW T.T., HE W., JI J. 3, 2006, Solar Energy, Vol. 80, pp. 298-306.
- [17]. Performance monitoring and modeling of an uncovered photovoltaic-thermal (PVT) water collector. Aste T., Pero C.D., Leonforte F., Manfren M.,. 2015, Solar Energy, Vol. 135, pp. 551-568.
- [18] M.Y. Othman, S.A, Hamid, M.A.S. Tabook, K. Sopian, M.H. Roslan, Z. Ibrahim, Performance analysis of PV/T Combi with water and air heating system : An experimental study, Renewable Energy, 2016, vol. 86, pp. 716-722.
- [19] Michael, Jee Joe, and Iniyan Selvarasan. "Experimental investigation of a copper sheet- laminated solar photovoltaic thermal water collector." Energy Efficiency 10, no. 1 (2017): 117-128.
- [20] BOURAL, Azzedine. Réalisation et étude des performances d'un panneau solaire hybride photovoltaïque/thermique. Mémoire de master. Université Saad DAHLAB : Blida, 2017, N° 76.
- [21] E. YANDRI. The effect of Joule heating to thermal performance of PVT collector during electricity generation, Renewable Energy, 2017, vol.111, pp. 344-352.
- [22] N. Dimri, A. Tiwari, G.N. Tiwari, Thermal modelling of semitransparent photovoltaic thermal (PVT) with thermoelectric cooler (TEC) collector, Energy Conversion and Management, 2017, vol. 146, pp. 68-77.
- [23] Zhou, Jicheng, Haoyun Ke, and Xiaoqing Deng. "Experimental and CFD investigation on temperature distribution of a serpentine tube type photovoltaic/thermal collector." Solar Energy 174 (2018): 735-742.
- [24] Dembeck-Kerekes, T., Jamie P. Fine, J. Friedman, S. B. Dworkin, and J. J. McArthur. "Performance of variable flow rates for photovoltaic-thermal collectors and the determination of optimal flow rates." Solar Energy 182 (2019): 148-160.
- [25] B. BOUMAARAF, K. TOUAFEK, M.S. AIT-CHEIKH, M.A. SLIMANI, Comparison of electrical and thermal performance evaluation of a water glazed hybrid photovoltaic Thermal collector and a classic PV generator, Mathematics and computer in simulation, 2020, vol. 167, pp. 176-193.
- [26] B. BOUMAARAF, Conception, étude et réalisation d'une nouvelle configuration de capteur solaire hybride photovoltaïque thermique, thèse de Doctorat, École National Polytechnique, 2021, N° 166.
- [27] H. ZHONGHE, L. KAIXIN, Liu.GUIQIANGLI, Xudong ZHAO, Samson SHITTU. Electrical and thermal performance comparison between PVT-ST and PV-ST systems. Energy. Volume 237, 15 December 2021.

- [28] Hussein A. KAZEM, Miqdam T. CHAICHAN, Ali H.A. AI-WAELI, Reem Al- BADI, Mohammed A. FAYAD, Aslan GHOLAMI. Dust impact on photovoltaic/thermal system in harsh weather conditions. *Solar Energy*. Volume 245, October 2022, Pages 308- 321.
- [29] Ezzeddine TOUTI, Majed MASMALI, Mohamed FTERICH, Houssam CHOUIK HI. Experimental and numerical study of the PVT design impact on the electrical and thermal performances. *Case Studies in Thermal Engineering*. Volume 43, March 2023.
- [30] S. Karroute "Etude théorique et numérique des systèmes couples : distillateur plan capteur et distillateur hot box-capteur". Thèse de magister (2009) 03-15.
- [31] S. Saadi. "Effet des paramètres opérationnels sur les performances d'un capteur solaire plan". Thèse de magister (2010) 05-19
- [32] D. Ababsa. "Optimisation Du Rendement D'un Capteur Solaire Par Minimisation Des Pertes Convectives". Thèse de magister (2010) 17-39.
- [33] M. SANDALI, Etude dynamique et thermique d'un capteur solaire à air à double passe avec milieu poreux, Année Universitaire : 2013-2014.
- [34] Bemmer, C., Durst, F., McEligot, DM. (1984) "Numerical study of fluid flow and heat transfer in a parallel plate channel with baffles", *Journal of Heat Transfer*, pp. 106-743.
- [35] BEKKOUCHE S-A « Modélisation du Comportement Thermique de Quelques Dispositifs Solaires Rev. Energ. Ren. Lèmes Journées Internationales de Thermique (2003) 47-51
- [36] B. Mahfoud Simulation de la combustion stoechiométrique de méthane CH₄ dans une chambre à combustion-Scientific Figure on ResearchGate. Available from : https://www.researchgate.net/figure/Figure-III2-Schema-du-volume-de-contrôle-a-maillage-decale-pour-u-e-b-maillage_fig8_331532891 [accessed 7 Sep, 2021]
- [37] Loan C. POPA, « modelisation numerique du transfert thermique méthode du volume finie, universitria craiova, 2002
- [38] M. Amraoui « Etude numérique d'un capteur solaire plan à air Influence de la forme de la rugosité ». Université de Tlemcen 2012.
- [39] K. Aoues, N. Moumami, M. Zellouf, A. Moumami, A. Labeled, E. Achouri, A. Benchabane, « amélioration des performances thermiques d'un capteur solaire plan à air », Étude expérimentale dans la région de Biskra, revue des énergies renouvelables, vol 12, n°2, p 237-248, Université Mohamed Khider B.P. 145, Biskra, Algérie (2009)..
- [40] F. Mokhtari, D. Semmar, A. Hamid « L'Influence de la Configuration de l'Absorbeur sur les Performances Thermiques d'un Capteur Solaire à Air Centre de Développement des Energies Renouvelables, B.P. 62, Route de l'Observatoire, Bouzaréah, Alger, Algérie Rev. Energ. Ren. Journées de Thermique (2001) 159-162.

- [41] Kawther A., "Production d'énergie électrique à partir de l'énergie photovoltaïque", Mémoire de License, Université de Guelma, 2017.
- [42] QUABDELKADER Katia, MERSEL Houria, Modélisation et Contrôle d'un Système Photovoltaïque Connecté au Réseau". Mémoire de Master, Université Abderrahmane Mira de Bejaia, 2015.
- [43] A. Labouret, M. Viloz, "Energie solaire photovoltaïque ", 3ème édition, DUNOD, Paris, 2006.
- [44] B. Equer, Energie solaire photovoltaïque (volumel : physique et technologie de la conversion photovoltaïque)", lère édition, ELLIPES, Paris, 1993.
- [45] BENSEDDIK O., DJALOUUD F., Etude et optimisation d'un système photovoltaïque", Mémoire de Master, Université Kasdi Merbah Ouargla, 2012.
- [46] BELGHITRI H., Modélisation, simulation et optimisation d'un système hybride éolien-photovoltaïque". Mémoire de Master, Université Kasdi Merbah Ouargla, 2009.
- [47] GUEDAOURIA H., Dimensionnement d'un système photovoltaïque pour alimenter le laboratoire LPDS au sien de l'université de Béchar ", Mémoire de Master, Université Tahri Mohammed Bechar, 2017.
- [48] Ricaud A., Systèmes photovoltaïques". Mémoire de Master. Ecole d'ingénieurs 'Polytech' Savoie', octobre 2011.
- [49] Mehdi M.. Injection de l'électricité produite par les énergies renouvelables dans le réseau électrique". Mémoire de Master, Université Abou Bekr Belkaïd, Tlemcen, 2010.
- [50] Zerguine B., MODELISATION D'UN SYSTEME DE PRODUCTION ELECTRIQUE PAR LA CELLULE PHOTOVOLTAIQUE", Mémoire de Master, Université BADJI MOKHTAR Annaba, 2010.
- [51] FPGA en utilisant la carte ML605". Université Mohamed Boudiaf M'sila, 2018.
- [52] SALAMA F., ‘ Modélisation d’un système multi générateurs photovoltaïques interconnectés au réseau électrique ‘, Mémoire de Magister, Université de Sétif, 2011.
- [53] Belkis MAHLOUS, Latifa ZAHRI, Youcef TERCHA, ÉTUDE DE L'EFFET DES CHANGEMENTS DE CONDITIONS OPERATIONNELLES SUR LES PERFORMANCES DES PANNEAUX PHOTOVOLTAÏQUES. Mémoire de Master. Université Echahid Hamma Lakhdar : El-Oued, 2022, N° 56.H
- [54] H. KAMELIA, << Modélisation D'une Cellule Photovoltaïque, » FACULTE DE GENIE ELECTRIQUE ET D'INFORMATIQUE, TIZIOUZOU, 2012.
- [55] A. M. E. H. OMAR, Étude comparative entre différents modèles électriques photovoltaïques, » UNIVERSITE LARBI BEN M'HIDI OUM EL BOIAGHI, OUM ELBOUGHI, 2012.
- [56] Z. SORIA et M. CHEYMAA, « Etude et Simulation d'un Générateur Photovoltaïque Muni d'un Convertisseur MPPT pour une Meilleur Gestion

Energétique, » UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF-MSILA, MSILA, 2017.

[57] Edwards, D, K., Capteurs solaires, Edition SCM, paris, 1979

[58] K. TOUAFEK, Étude d'un capteur solaire hybride photovoltaïque thermique. Mémoire de Magister. École Nationale Polytechnique : El-Harrach, 02 Octobre 2005, N° 135.

[59] KALOJIROU S. A. Solar thermal collectors and applications. Progress in Energy and Combustion Science, 2004, vol. 30, n° 3, pp. 231-295.