

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة غرداية
Université de Ghardaïa

N° d'enregistrement
/...../...../...../.....



كلية العلوم والتكنولوجيا
Faculté des Sciences et de la Technologie
قسم الآلية والكهروميكانيك
Département Automatique et Electromécanique

Mémoire de fin d'étude, en vue de l'obtention du diplôme

Master

Domaine : Sciences et Technologies
Filière : Electrotechnique
Spécialité : Energies renouvelables en électrotechnique

Thème

Étude et Conception d'un Système Hybride PVT
Intégré dans l'Habitat

Présenté par : KADI Mansour

Soutenue publiquement le 15/06/2025

Devant le jury composé de :

ZEGAUI Abdelallah	Professeur	Université de Ghardaïa	Président
TOUAFEK Khaled	Directeur de recherche	URAER de Ghardaïa	Encadreur
HASNAUI Fares	Maitre de Conférences B	Université de Ghardaïa	Examineur
SELLAH Mourad	Maitre de Conférences B	Université de Ghardaïa	Examineur

Année universitaire 2024 /2025

تتنوع تطبيقات الطاقات المتجددة في المناطق المستقلة. وتتميز بضرورة تلبية الاحتياجات الطاقية بشكل مستمر. في هذا العمل، قمنا بدراسة جدوى توفير الطاقة الكهربائية والحرارية لمنزل يقع في موقع معزول في جنوب الجزائر. النظام المدروس يعتمد على المجمعات الهجينة الكهروضوئية الحرارية (PVT) التي تعتبر مولدات مشتركة للطاقة. الهدف هو تلبية الاحتياجات من الكهرباء والحرارة (ماء ساخن) من خلال مجمعات شمسية مركبة. تم إجراء نمذجة رقمية لمكونات النظام المختلفة، ثم طبقنا نظامنا على حالة واقعية لمنزل في قاعدة سكنية تقع في جنوب الجزائر. النتائج التي تم الحصول عليها كانت مرضية، وأثبتنا جدوى هذا النوع من الأنظمة في المناطق المعزولة.

الكلمات المفتاحية: مجمعات PVT، مستقل، توليد مشترك، سكن، محاكاة.

Abstract

Renewable energy applications in autonomous regions are numerous. They are characterized by the need to continuously meet energy needs. In our work, we studied the feasibility of supplying electrical and thermal energy to a home located in an isolated area in southern Algeria. The system studied is based on hybrid photovoltaic thermal (PVT) collectors, which are energy cogenerators. The objective is to meet electricity and heat (hot water) needs using composite solar collectors. Numerical modeling of the various system components was performed, and we then applied our system to a real-life case of a home in a camp located in southern Algeria. The results obtained are satisfactory, and we have demonstrated the relevance of this type of system in isolated areas.

Keywords: PVT collectors, autonomous, cogeneration, housing, simulation

Résumé

Les applications des énergies renouvelables dans les régions autonomes sont multiples. Elles se caractérisent par l'obligation de satisfaire les besoins énergétiques de façons continus. Dans notre travail, nous avons étudié la faisabilité de l'approvisionnement en énergie électrique et thermique d'une habitation située dans un site isolé au sud d'Algérie. Le système étudié est basé sur les capteurs hybrides photovoltaïques thermiques (PVT) qui sont des cogénérateurs d'énergies. L'objectif est de satisfaire les besoins en électricité et en chaleur (eau chaude) par des capteurs solaires composés. Une modélisation numérique des différentes composantes du système a été effectuée puis nous avons appliqué notre système sur un cas réel d'une habitation dans une base de vie située au sud d'Algérie. Les résultats trouvés sont satisfaisants et nous avons prouvé la pertinence de ce type de système dans les zones isolées.

Mots clés : Capteurs PVT, Autonome, Cogénération, Habitation, Simulation

Remerciements

Avant toute chose, je tiens à exprimer ma gratitude envers « Allah », le tout-puissant, pour m'avoir accordé sagesse et santé dans l'accomplissement de cette modeste tâche.

Nous adresserons nos remerciements, et à exprimer mes reconnaissances à mon encadreur Dr. TOUAFEK Khaled, Directeur de recherche à URAER de Ghardaïa pour son encadrement et son soutien.

Je remercie Pr A, ZEGAUI Enseignant à l'université de Ghardaïa, qui m'a fait l'honneur de présider le jury.

Je tiens à exprimer mes respectueux et sincères remerciements à Dr F, HASNAUI qui a accepté d'examiner ce travail et faire partie du jury.

Je remercie Dr M. SELLAH pour avoir accepté d'examiner ce travail et faire partie du jury.

Enfin, que tous ceux et celles qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail, soient assurés de ma profonde gratitude.

Sommaire

Liste des symboles

Liste des figures

Liste des tableaux

<i>Introduction générale</i>	<i>1</i>
Chapitre 1 Généralités sur les systèmes de cogénérations	3
1.1 Introduction	3
1.2 Cogénération	3
1.3 Historique de la cogénération	4
1.4 Principe de la cogénération	5
1.5 Classification de cogénération	6
1.5.1 Technologie moteur à combustion interne (M. à C.I.)	7
1.5.2 Technologie moteur à combustion externe (M. à C.E.)	7
1.5.3 Technologie micro turbine (Turbine à gaz)	8
1.5.4 Technologie pile à combustible (PAC.)	8
1.5.5 Cogénération photovoltaïque thermique	9
1.6 Secteur d'application de cogénération	10
1.7 Avantages et inconvénients de la cogénération.....	10
1.7.1 Avantages	19
1.7.2 Inconvénients	10
1.8 Conclusion.....	11
Chapitre 2 Etat de l'art sur les capteurs hybrides PVT	12
2.1 Introduction	12
2.2 Définition le capteur hybride PVT	12
2.3 Fonctionnement des capteurs PVT.....	12
2.4 Classification des systèmes PV/T	14

2.5. Systèmes PVT non concentrés	15
2.5.1. Capteurs solaires PVT à air	15
2.5.2. Capteurs solaires hybrides PV/T à eau	18
2.5.3. Capteurs solaires hybrides PV/T bi-fluide	19
2.6. Systèmes PVT concentrés	21
2.6.1 Capteur solaire hybride à concentration CPVT	21
2.7 Avantages et Inconvénients de système hybride PV/T	22
2.7.1 Avantages	22
2.7.2 Inconvénients	22
2.8 Conclusion.....	22

Chapitre 3 Modélisation d'un système de cogénération à base

<i>de capteurs hybrides PVT.....</i>	<i>24</i>
3.1 Introduction	24
3.2 Bilan énergétique du capteur PVT	24
3.2.1 Bilan énergétique pour la face extérieure du verre.....	24
3.2.2 Bilan énergétique pour la face intérieure du verre	24
3.2.3 Bilan énergétique pour la cellule solaire	27
3.2.4 Bilan énergétique pour la couche de Tedlar	28
3.2.5 Bilan énergétique au niveau de la plaque absorbante	28
3.2.6 Bilan énergétique au niveau du tube	29
3.2.7 Bilan énergétique pour le fluide caloporteur	30
3.2.8 Bilan énergétique pour la couche d'isolant	30
3.3. Modèle électrique du capteur PVT	31
3.4. Modèle a une seule diode	32
3.4.1 Modèle a trois paramètres (L3P).....	32
3.4.2 Modèle a quatre paramètres (L4P)	33
3.4.3 Le modèle photovoltaïque à cinq paramètres	34
3.5. Modèle a deux diodes.....	34

3.5.1	Modèle a cinq paramètres (2M5P)	34
3.5.2	Modèle a six paramètres (2M6P)	35
3.5.3	Modèle a sept paramètres (2M7P)	36
3.6	Conclusion.....	37
Chapitre 4	<i>Simulation du système PVT et Application</i>	38
4.1.	Introduction	38
4.2.	Simulation partie I.....	38
4.2.1.	Modèle Simulink du capteur PVT	38
4.2.1.1.	Partie électrique (modèle électrique).....	38
4.2.1.1.A	Caractéristiques I(V) et P(V) du capteur solaire photovoltaïque	38
4.2.1.1.B	Influence de l'éclairement solaire.....	41
4.2.1.1.C	Influence de la température	42
4.2.2	Partie énergétique	44
4.3.	Simulation partie II.....	46
4.4.	Dimensionnement d'un système photovoltaïque thermique (PV/T).....	47
4.4.1	Besoins énergétiques d'électricité	47
4.4.2	Besoins énergétiques thermique (Estimation des besoins en chauffage de l'eau).....	48
4.4.3	Ballon de stockage	48
4.5	Choix le panneau solaire photovoltaïque (PVT)	49
4.5.1	Détermination de la puissance crête d'un système PVT	52
4.5.2	Détermination le nombre total de capteur PVT N_p	52
4.5.3	Choix des batteries	53
4.5.4	Choix de régulateur	53
4.5.4	Choix d'onduleur	55
4.6	Simulation d'un schéma d'un modèle électrique	55
4.7	Simulation d'un schéma électrique d'un capteur PVT.....	56
4.8	Conclusion.....	57

Conclusion générale	59
Bibliographie	60

Liste des figures

Chapitre 1 : Généralités sur les systèmes de cogénérations

Figure 1.1 : Production de l'électricité à partir de la technique cogénération	4
Figure 2.2 : Exemple comparaison entre cogénération avec système classique	6
Figure 2.3 : Classification de la cogénération	6
Figure 1.4 : Schéma d'un capteur photovoltaïque hybride avec refroidissement à eau	9

Chapitre 2 : Etat de l'art sur les capteurs hybrides PVT

Figure 2.1 Schéma de fonctionnement d'un système PV/T	13
Figure 2.2: Module hybride PVT – vue en coupe	14
Figure 2.3 : Classification des capteurs hybrides PV/T	14
Figure 2.4: Système PVT de type air en boucle ouverte	15
Figure 2.5: Système PVT de type vitré à air	16
Figure 2.6: Différentes configurations de systèmes PVT à air	17
Figure 2.7 : Capteur solaire hybride PV/T à air	17
Figure 2.8 : Banc d'essai du capteur solaire PV/T hybride à air	18
Figure 2.9 : Capteur solaire hybride à eau	19
Figure. 2.10. a) Vue en coupe b) Vue en perspective du capteur PVT bi-fluide	20
Figure 2.11 : Capteur à concentration	21

Chapitre 3 : Modélisation d'un système de cogénération à base de capteurs hybrides PVT

Figure 3.1: Coupe du capteur représentant les températures des différents nœuds	25
Figure 3.2: schéma représentant l'échange thermique au la niveau le vitre face extérieure	26
Figure 3.3 : schéma représentant l'échange thermique au la niveau le vitre face	

intérieure.....	27
Figure 3.4 : schéma représentant l'échange thermique au la niveau de la cellule photovoltaïque	28
Figure 3.5 : schéma représentant l'échange thermique au la niveau de la couche de tedlar	28
Figure 3.6 : Ecoulement du fluide dans un tube.....	30
Figure 3.7: schéma représentant l'échange thermique au la niveau de l'isolant de face intérieure.	31
Figure 3.8 : schéma représentant l'échange thermique au la niveau de l'isolant de face extérieure	31
Figure 3.9 : Modèle idéal d'une cellule photovoltaïque (modèle à L3P).....	32
Figure 3.10 : Modèle à 4 paramètres (L4P).	33
Figure 3.11 : Schéma équivalent du modèle à une exponentielle, L5P.....	34
Figure 3.12 : schéma équivalent du modèle à cinq paramètres (2M5P).	35
Figure 3.13 : Circuit équivalent du modèle à six paramètres (2M6P)	36
Figure 3.14: Circuit équivalent du modèle à sept paramètres (2M7P).....	36
 Chapitre 4 : Simulation du système PVT et Application	
Figure 4.1 : photo du panneau PV silicium monocristallin référence 5150-008.....	39
Figure 4.2 : les caractéristiques du panneau PV silicium monocristallin référence 5150-008.....	39
Figure 4.3 : Caractéristique I(V) d'un panneau PV	40
Figure 4.4 : Caractéristique P(V) d'un panneau PV	40
Figure 4.5 Caractéristique I(V) d'un module pour différentes valeurs de l'éclairement	41
Figure 4.6 Caractéristique P(V) d'un module pour différentes valeurs de l'éclairement.....	42
Figure 4.7 Caractéristique I(V) d'un panneau PV pour différentes valeurs	

de température	43
Figure 4.8 Caractéristique P(V) d'un panneau PV pour différentes valeurs	
de température	43
Figure 4.9 : Modèle de capteur photovoltaïque thermique PVT sous Matlab Simulink.....	44
Figure 4.10 : L'éclairement solaire globale	45
Figure 4.11 : Puissance électrique de sortie	45
Figure 4.12 : Puissance thermique	46
Figure 4.13 : Photo 3D de base de vie.....	46
Figure 4.14 : Ballon de stockage d'eau sanitaire et ses spécifications.....	48
Figure 4.15 : régulateur victron enrgy MPPT 250 V/85A	54
Figure 4.16 : Phoenix Inverter 24/5000 230V VE.Bus Victron (24V / 5000VA)	55
Figure 4.17 : schéma électrique pour système PV hybride	56
Figure 4.18 : schéma simple d'un capteur PVT intégré dans l'habitat	57

Liste des tableaux

Chapitre 4 : Simulation du système PVT et Application

Tableau 4.1 : Besoin électrique par une chambre	47
Tableau 4.2 : Les caractéristiques mécanique d'un panneau PVT.....	50
Tableau 4.3 : Les caractéristiques électrique et thermique d'un panneau PVT	52
Tableau 4.4 : les caractéristique régulateur victron enrgy MPPT 250V/85A	54
Tableau 4.5 : les caractéristique d'onduleur.....	55

Liste des symboles

PVT : Photovoltaïque thermique

PV : Photovoltaïque

LFR : Linear Fresnel reflectors

MPPT : Maximum Power Point Tracking

I_{cc} : Le courant de court-circuit (A)

V_{co} : La tension de circuit ouvert (V)

DC : Courant Continu (Direct Current)

AC : Courant Alternatif (Alternatif Current)

M. à C.I : moteur à combustion interne

M. à C.E : moteur à combustion externe

PAC : Pile A Combustible

CPVT : Capteur solaire hybride à concentration

CPV : photovoltaïques à concentration

BIPVT : building integrated Photovoltaic thermal

A_{verre} : Surface du verre (m^2).

G : Rayonnement directe totale absorbée par la cellule solaire (W/m^2).

τ_{verre} : Transmittivité du verre.

α_{cel} : Coefficient d'absorptivité de la cellule solaire.

σ : Constante de Stefan-Boltzmann en ($W/ m^2 K^4$)

ϵ_v : Émissivité du verre

A_{verre} : Surface du verre en (m^2)

h_{ca} : Coefficient de transfert convectif

λ_v : La conductivité thermique du verre

δ_v : L'épaisseur de verre

λ_{ciel} : La conductivité thermique du verre

δ_{ciel} : L'épaisseur de verre

η_{ref} : Le rendement de référence

T_{ref} : Température de référence

$h_{conv\ t-f}$: Le coefficient de transfert de chaleur de convection

α^* : Le facteur d'absorptivité

I_{ph} : Le courant photonique

I_{pv} : Le courant électrique produit par la cellule PV

Id : Courant de diode
Vd : La tension de la diode (V)
Vt: La tension thermique
n : Le facteur d'idéalité de la diode
Vt: Tension thermique [V]
N: Facteur d'idéalité de la photopile
K: Constant de Boltzmann (1.38. J/K)
q: Charge de l'électron (1.6. C)
Is : Courant de saturation.
Rs : La résistance séries.
n : Facteur de qualité de la diode
Rsh : La résistance parallèle
Is1 : Courant inverse de saturation de la diode 1
Is2 : Courant inverse de saturation de la diode 2
n1 : Le facteur de qualité de la diode 1
n2 : Le facteur de qualité de la diode 2
L : Quantité d'énergie thermique journalier
 ρ : La masse volumique d'eau
Cp : La capacité calorifique de l'eau égale
Tw : Température d'eau chaude demandée
Tm : Température d'eau froide
Q : l'énergie thermique en joules (J)
Vmp : Tension d'alimentation maximale
Imp : Courant de puissance maximale
Pc : Puissance crête
Ec : Energie consommée
Pr : Ratio de performance ou rendement du système PV
Pi : Irradiation solaire sous conditions STC
Gi : Irradiation solaire journalière moyenne
P mod : puissance de module PV
C : capacité de batterie
Nj : nombre de jour
 α : profondeur de décharge

Introduction

Générale

Introduction générale

L'énergie est indispensable pour les développements technologiques et industriels d'une nation. Durant les deux derniers siècles, la demande en énergie a été principalement satisfaite par les combustibles fossiles. A cause de leur épuisement et de l'émission de polluants qui détruisent l'environnement, les chercheurs ont concentré leurs travaux ces dernières années sur les technologies d'exploitation des sources d'énergies renouvelables. Ces sources sont principalement l'énergie solaire, l'énergie éolienne, la bioénergie, l'énergie géothermique, et l'énergie océanique.

L'énergie solaire est la meilleure source d'énergie alternative en termes d'utilisation et d'utilisation à grande échelle coût inférieur. Elle est considérée comme une solution moins chère, durable et les ressources sont abondantes et les restrictions environnementales sont minimales.

Dans ce contexte, l'énergie solaire est devenue l'une des sources d'énergie renouvelables les plus prometteuses. Les principales applications de l'énergie solaire peuvent être divisées en deux catégories :

- Les panneaux photovoltaïques solaires permettent de transféré ou convertie les rayonnements solaires en énergie électrique.
- Les capteurs solaires thermiques permettent de convertir les rayonnements solaires en chaleur.

Un capteur photovoltaïque (PVT) est un capteur solaire hybride qui convertit une partie de l'énergie solaire captée en électricité et récupère une autre partie de l'énergie solaire habituellement perdue sous forme de chaleur. Le concept consiste à superposer deux fonctions d'énergie électrique et d'énergie thermique. Dans ce type d'ensemble hybride, les cellules photovoltaïques sont reliées à un échangeur thermique dans lequel circule un fluide caloporteur.

Dans ce mémoire intitulé « Étude et conception d'un système hybride PVT intégré dans l'habitat », nous proposons une analyse approfondie et une modélisation technique d'un système de cogénération basé sur des capteurs solaires hybrides PVT. Ce travail vise à explorer les potentialités de ces technologies dans le cadre de leur intégration architecturale et fonctionnelle dans les bâtiments résidentiels.

Le mémoire est structuré en quatre chapitres :

- Chapitre 1 : Généralités sur les systèmes de cogénération

Ce chapitre présente les principes de base de la cogénération, les différentes technologies existantes, ainsi que leurs avantages énergétiques et environnementaux.

- Chapitre 2 : État de l'art sur les capteurs hybrides PVT

Il est consacré à une revue bibliographique détaillée sur les capteurs solaires hybrides PV/T, incluant leurs définitions, principe de fonctionnement, typologies, performances et applications.

- Chapitre 3 : Modélisation d'un système de cogénération à base de capteurs hybrides PVT

Ce chapitre développe les outils théoriques et mathématiques nécessaires à la modélisation thermique et électrique d'un système PV/T, afin de simuler son comportement énergétique sous différentes conditions.

- Chapitre 4 : Simulation du système et application

Il présente les résultats obtenus par suite de la simulation numérique du modèle développé dans le chapitre précédent, appliqué à un cas pratique d'intégration dans un habitat résidentiel.

- Conclusions générales

Synthèse des résultats, perspectives et recommandations issues de l'étude menée.

- Bibliographie

Liste des références scientifiques et techniques utilisées tout au long du mémoire.

À travers cette étude, nous espérons apporter une contribution pertinente à la compréhension et à l'optimisation des systèmes hybrides PVT, tout en soulignant leur importance croissante dans la transition énergétique vers des bâtiments plus durables et autonomes énergétiquement.

Chapitre 1

Généralités sur

les systèmes

de cogénérations

Chapitre1. Généralités sur les systèmes de cogénérations

1.1 Introduction

Ce chapitre explore la cogénération, une solution énergétique innovante qui permet de produire simultanément de l'électricité et de la chaleur à partir d'une seule source d'énergie. Face aux défis du réchauffement climatique et de la dépendance aux énergies fossiles, la cogénération se présente comme une alternative efficace et durable. Dans ce chapitre, nous explorerons les principes fondamentaux de la cogénération, ses avantages économiques et environnementaux, ainsi que les diverses applications industrielles et territoriales qui en découlent. En contextualisant les enjeux actuels liés à l'énergie, nous poserons les bases d'une compréhension approfondie de la place croissante de la cogénération dans le paysage énergétique contemporain.

1.2 Cogénération

La cogénération est un procédé qui permet de produire simultanément de l'électricité et de la chaleur à partir d'une seule source d'énergie, généralement un combustible fossile, de la biomasse ou du gaz naturel. Ce système de production d'énergie est basé sur la récupération de la chaleur résiduelle produite lors de la génération d'électricité, qui est ensuite réutilisée pour des besoins thermiques, comme usage de chauffage ou d'eau chaude sanitaire.

L'utilisation de l'énergie primaire d'un système de cogénération est ainsi rationalisée. Si nous considérons le rendement global d'un système de cogénération par le rapport entre la quantité de l'énergie utile et l'énergie primaire consommée, l'efficacité énergétique de la cogénération peut atteindre généralement plus de 85%. Le calcul du rendement d'un Co générateur est abordé de manière détaillée dans [2] [3].

L'énergie produite par les unités de production combinée de chaleur et d'électricité est souvent utilisée pour le site du client où se trouve le système de production combinée de chaleur et d'électricité. Ce les systèmes de production combinée de chaleur et d'électricité sont pratiques et réalisables dans les systèmes suivants simultanément, il est nécessaire de générer de la vapeur (ou de la chaleur) et l'électricité, comme dans les installations industrielles.

Les systèmes de production combinée de chaleur et d'électricité tels que les piscines, les logements collectifs, les maisons individuelles ou les bateaux, Quelle que soit sa puissance nominale, se compose d'un convertisseur thermomécanique, Produire de l'énergie mécanique à partir de l'énergie primaire pour conduire Convertisseur électromécanique. Il existe actuellement une variété de structures motorisées Grâce aux moteurs à combustion interne, aux turbines à gaz, aux moteurs à injection Chaleur externe, etc. La cogénération de chaleur et d'électricité peut également être réalisée par voie électrochimique. Comme une pile à combustible.

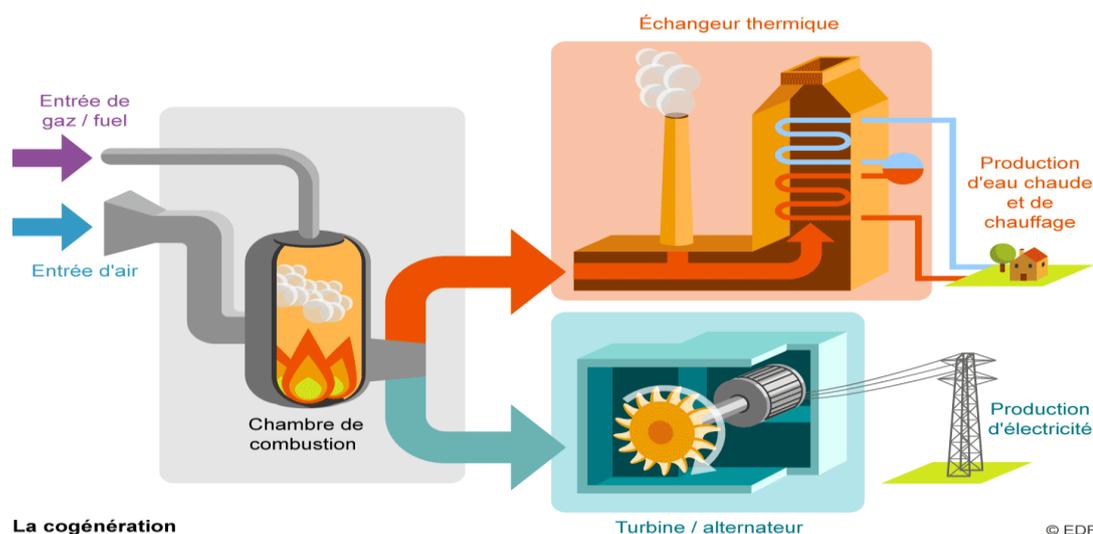


Figure 1.1 : Production de l'électricité à partir de la technique cogénération. [4]

1.3 Historique de la cogénération

La cogénération est une méthode efficace et propre de production d'énergie électrique et thermique à partir d'une seule source d'énergie combustible unique. Elle regroupe un ensemble de technologies fiables et rentables qui contribuent significativement à répondre à la demande mondiale de chaleur et d'électricité.

La cogénération est apparue en 1880 en Europe et aux États-Unis. Au début du XXe siècle, la plupart des installations industrielles produisaient leur propre électricité grâce à des chaudières et des turbines à vapeur. On estime que 58 % de l'électricité totale produite par les installations industrielles aux États-Unis en 1900 était issue de la cogénération.

Les systèmes de cogénération se sont développés avec la crise énergétique dans les années 1970 [3]. En 1998, la totalité des Cogénérateurs répond à 11% de la consommation électrique de l'Union Européenne [4]. Ce chiffre reste relativement stable jusqu'en 2004 et depuis la

directive 2004/8/EC portant sur des décisions en faveur de la cogénération, ce chiffre a augmenté de 1,6% par an en Europe [5].

L'utilisation de la cogénération pour chauffer diverses applications et installations réduit les pertes de chaleur et améliore le rendement. Les systèmes de cogénération classiques affichent des rendements globaux compris entre 65 % et 90 %. L'efficacité de la cogénération est accrue grâce à la quantité de combustible utilisée.

De nombreuses études ont utilisé l'analyse énergétique pour simuler et prédire performances du système de cogénération pour déterminer la configuration et optimiser la stratégie pour optimiser son efficacité [6], tout en combinant le système cogénération conventionnelle combinée au cycle de Rankine pour plus de performance obtenir simultanément un approvisionnement optimal en électricité et en chaleur [7,8]. Un système la cogénération peut être améliorée en utilisant des technologies alternatives, par exemple : Énergie solaire, géothermique et renouvelable. Dans le cas de L'énergie solaire, utilisant des réflecteurs de Fresnel pour focaliser les sources lumineuses l'énergie est utilisée pour augmenter l'efficacité globale du système de cogénération.

Fresnel (LFR) a été utilisés pour un champ solaire à concentration, afin d'étudier les modifications probables requises dans la centrale. De même, afin d'accroître l'efficacité globale des systèmes de cogénération, Nia et al. [9] ont mené une étude expérimentale pour examiner la possibilité de créer un circuit d'eau préchauffée pour les systèmes utilisant une centrale thermoélectrique activée par un système de Fresnel. [10]

1.4 Principe de la cogénération

Le principe de la cogénération consiste à produire, à partir d'une énergie primaire combustible, deux énergies secondaires utilisables, une énergie mécanique ou électrique et une énergie thermique. L'énergie électrique est obtenue par conversion de l'énergie mécanique produite par une turbine à gaz, ou turbine à vapeur, en énergie électrique. L'idée de cogénération repose sur le fait que la production électrique dégage une grande quantité de chaleur à température moyenne. En réponse à une demande thermique (chauffage, eau chaude sanitaire...etc.), elle propose de valoriser la chaleur du cycle de génération électrique comme source thermique. Un avantage important de ce type de cogénération, dans le cas d'une mise en réseau, est que la production d'électricité se fait en hiver, en coïncidence avec la pointe de la demande.

Par définition, une installation de cogénération permet la production simultanée de deux formes d'énergie à partir d'une même source d'énergie primaire et d'un seul équipement. Dans ce manuscrit, il s'agira de la production combinée d'électricité et de chaleur. Comme l'illustre la figure 2.2, ce type d'installation réduit la consommation d'énergie primaire pour une production finale projetée.

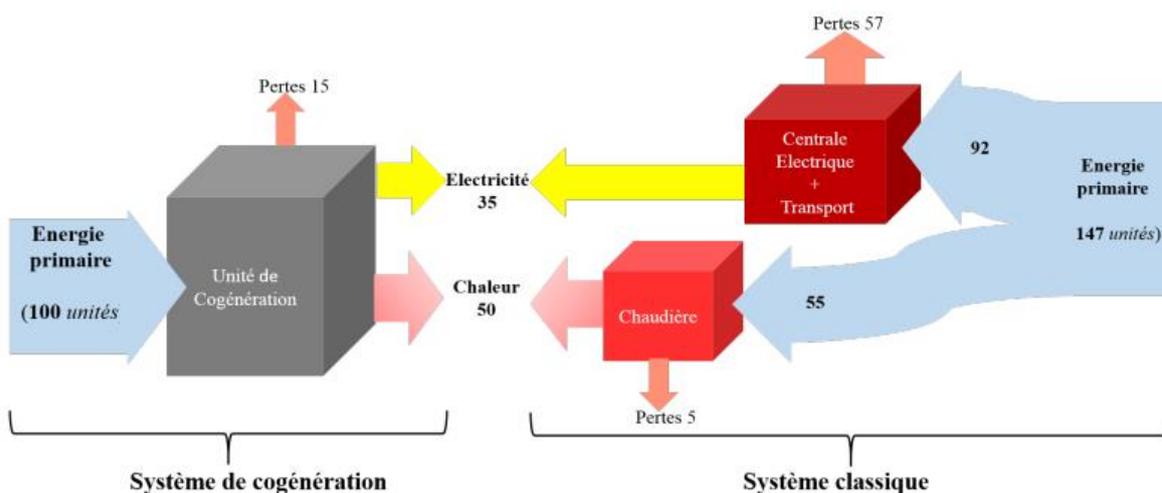


Figure 2.2 : Exemple comparaison entre cogénération avec système classique [5].

1. 5 Classification de cogénération

Par ailleurs, il y a deux types de classification des installations de cogénération sont à distinguer l'un basé sur l'énergie électrique produite et l'autre basé sur le type de convertisseur d'énergie.

Dans le premier cas, il s'agit de ménages produisant de la chaleur et de l'électricité de manière combinée, au nombre de cinq, selon les proportions indiquées sur la figure 2.3.

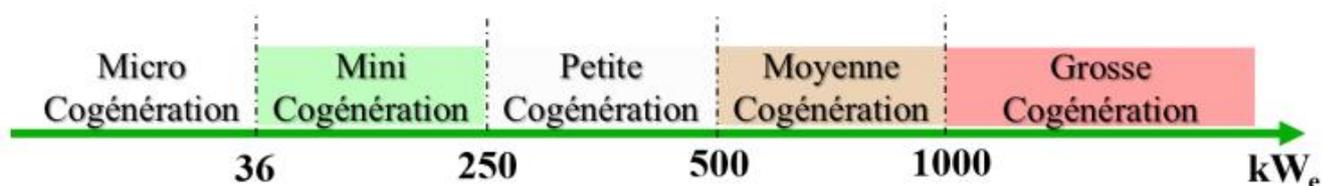


Figure 2.3 : Classification de la cogénération [6]

La cogénération de chaleur et d'électricité (sous-entendue cogénération de chaleur et d'électricité) existe désormais à grande échelle. Gamme de puissance : Micro cogénération avec puissance électrique inférieure à 36 kW à la production combinée de chaleur et d'électricité à

grande échelle dépassant 12 MW d'électricité, couvrant besoins énergétiques pour diverses applications : collectivités, usines, centres commerciaux.

Petite centrale de cogénération ou centrale de moyenne puissance, dont la plage de puissance électrique est supérieure à 36 kW et n'excède pas 250 kW. Elle peut également être envisagée lorsque le nombre d'applications à plus grande échelle ou d'unités de micro-cogénération est excessif. Pour 250 à 500 kW d'électricité, la cogénération à petite échelle constitue un modèle de production semi-basique dont l'échelle ne peut être déterminée.

Besoins particuliers pour des raisons économiques. La cogénération à petite échelle est principalement utilisée pour chauffer les bâtiments résidentiels et tertiaires.

Le deuxième cas correspond à la technologie de cogénération dont un résumé (principalement la technologie de micro-cogénération) est disponible dans [Boudellal 10]. Parmi celles-ci, on distingue :

1.5.1 Technologie moteur à combustion interne (M. à C.I.)

Unité de μ -cogénération de 4.7 kWe de chez Vaillant. Un moteur à combustion interne classique, qui est mécaniquement relié à un alternateur pour produire de l'électricité. La chaleur générée par les gaz d'échappement, atteignant environ 500°C, peut être récupérée à plus de 70% en étant refroidie à 120°C dans les moteurs à gaz et à 200°C dans les moteurs diesel. La chaleur provenant de l'eau de refroidissement et de l'huile du moteur, qui est d'environ 100°C, peut être entièrement récupérée. En revanche, la récupération de la chaleur du système de refroidissement du turbo, qui se situe autour de 55°C, est plus complexe, surtout dans les moteurs à gaz. La récupération de chaleur dans ces moteurs est particulièrement adaptée aux applications nécessitant des températures inférieures à 100°C, bien qu'il soit possible de générer une certaine quantité de vapeur à partir des gaz d'échappement. Les moteurs à combustion interne sont efficaces pour des systèmes de cogénération dans le secteur résidentiel, car les niveaux de température et de puissance atteints conviennent à de telles applications. [10]

1.5.2 Technologie moteur à combustion externe (M. à C.E.)

Unité de μ -cogénération de 1 kWe de chez De Dietrich. Les origines et les premières applications du moteur Stirling, un moteur à combustion externe, remontent au XIXe siècle. Actuellement, ce moteur suscite un nouvel intérêt en raison de son potentiel dans le secteur de la micro-cogénération. Grâce aux progrès récents, il est possible d'atteindre des puissances électriques typiques équivalentes ou même inférieures à un kilowatt. Le moteur Stirling

présente l'avantage d'être silencieux (en raison de l'absence d'explosions) et peut fonctionner avec divers types de combustibles (grâce à sa combustion externe). Cependant, il souffre de temps de démarrage relativement longs, un inconvénient qui n'affecte pas les moteurs à combustion interne. Les rendements électriques typiques de ce moteur sont d'environ 15%, tandis que les rendements thermiques se situent autour de 75%, ce qui élève le rendement global du cycle thermodynamique à 90%. [11]

1.5.3 Technologie micro turbine (Turbine à gaz)

Unité de μ -cogénération de 3 kWe de chez Micro Turbine Technology. Le combustible utilisé, généralement du gaz naturel, est incinéré dans une chambre de combustion alimentée par de l'air comprimé provenant d'un compresseur. Les gaz émis sont ensuite dirigés vers une turbine où leur énergie est transformée en énergie mécanique pour faire fonctionner à la fois le compresseur d'air et un générateur d'électricité. En alternative, la turbine à gaz peut également fonctionner avec du fioul. L'énergie résiduelle, sous forme de gaz chauds (environ 500 °C), peut être exploitée pour satisfaire les besoins en chaleur, que ce soit pour la production de vapeur ou d'eau chaude. Le rendement électrique d'une turbine à gaz se situe généralement entre 19% et 38%, atteignant même 40% pour les modèles les plus performants issus de la technologie aéronautique. Cependant, les rendements électriques élevés sont principalement observés sur les turbines à gaz de forte puissance, atteignant plusieurs dizaines de mégawatts. [12,13]

1.5.4 Technologie pile à combustible (PAC)

Unité de μ -cogénération de 4.6 kWe de chez Vaillant. Les piles à combustible stationnaires sont principalement utilisées pour la cogénération et font actuellement l'objet d'essais en tant que systèmes énergétiques pour les habitations, offrant une puissance d'environ 1 kW, ainsi que dans des applications industrielles nécessitant plusieurs centaines de kW. Une variété étendue de sources d'énergie primaire est utilisée comme combustible, incluant le gaz naturel, le biogaz et le gaz d'épuration. En mode inversé, la pile à combustible joue un rôle central dans l'électrolyseur, qui utilise l'électricité pour produire de l'hydrogène. Lorsque l'électricité provient de sources renouvelables, l'hydrogène généré est qualifié de « vert », et son utilisation dans l'ensemble de la chaîne énergétique est considérée comme sans émissions de CO₂. Dans le cadre de l'application mobile pour les véhicules, la propulsion électrique est alimentée par l'électricité produite par une pile à combustible fonctionnant avec de l'hydrogène comme source d'énergie secondaire. L'utilisation de piles à combustible pour la propulsion contribue à

diminuer la forte dépendance de la mobilité au pétrole, car l'hydrogène peut être extrait de nombreuses sources d'énergie primaire.

1.5.5 Cogénération photovoltaïque thermique

Le terme « cogénération photovoltaïque » ou « photovoltaïque hybride » PV/T désigne des systèmes photovoltaïques standards produisant de l'électricité auxquels sont ajoutés des dispositifs de récupération de chaleur fatale.

Une distinction sera faite entre les systèmes fonctionnant à basse température et ceux fonctionnant à haute température.

Les panneaux photovoltaïques hybrides basse température sont des dispositifs qui convertissent le rayonnement solaire en énergie électrique. Ils sont constitués d'un assemblage de cellules photovoltaïques interconnectées qui génèrent du courant continu à partir de l'énergie solaire, c'est ce qu'on appelle l'effet photoélectrique.

Le principe de la cogénération photovoltaïque basse température consiste à récupérer la chaleur stockée par les cellules photovoltaïques exposées au rayonnement solaire. Pour ce faire, un fluide caloporteur circule, généralement derrière les cellules, et capte la chaleur pour produire du chauffage ou de l'eau chaude sanitaire via le vecteur air ou eau. Ce refroidissement des cellules présente également l'avantage d'augmenter significativement le rendement électrique des panneaux [14], la figure 1.4 est une photo représente d'un capteur PVT hybride à eau.

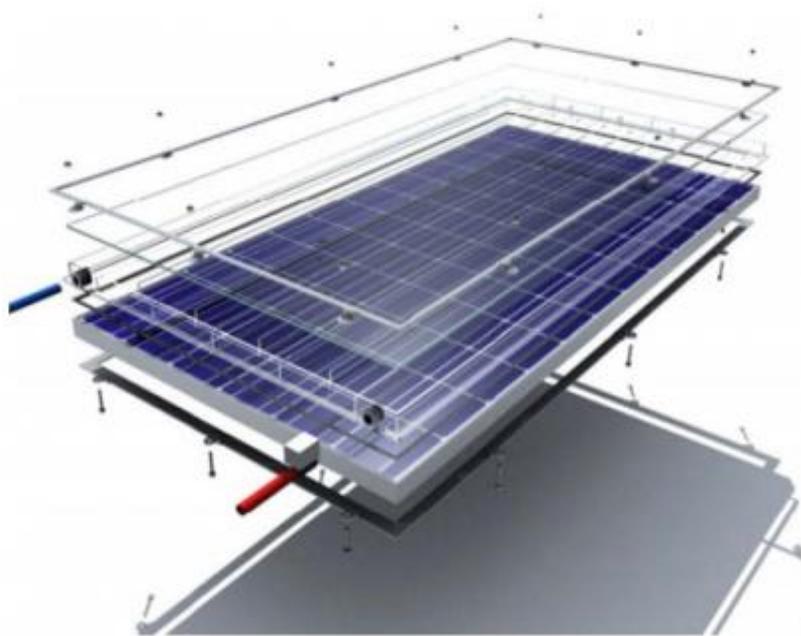


Figure 1.4 : Schéma d'un capteur photovoltaïque hybride avec refroidissement à eau.

1.6 Secteur d'application de cogénération

La chaleur et l'électricité produites dans les différents systèmes de cogénération peuvent s'appliquer à différents secteurs :

- Le chauffage de bâtiments, tels que des habitations, des bureaux, ou des installations industrielles.
- La production d'eau chaude sanitaire.
- Le chauffage de serres dans le secteur agricole. [15].

1.7 Avantages et inconvénients de la cogénération

1.7.1 Avantages

Meilleur rendement : la cogénération permet de produire à la fois de l'électricité et de la chaleur, ce qui améliore l'efficacité énergétique globale du système.

- Une disponibilité d'énergie garantie et continue.
- L'autonomie : gestion individualisée du mode de production d'énergie et utilisation

des ressources locales.

- le renforcement de la sécurité d'approvisionnement grâce à une production d'énergie à proximité des sites de consommation.

- Réduction des émissions de gaz à effet de serre
- Indépendance énergétique

1.7.2 Inconvénients

- Dépendance aux énergies fossiles
- Investissement coûteux : l'installation d'une centrale de cogénération peut nécessiter des investissements importants, bien plus que pour une centrale traditionnelle.
- Besoins en refroidissement : La cogénération produit une grande quantité de chaleur résiduelle, qui doit être évacuée pour éviter la surchauffe des équipements. Par conséquent, dans la plupart des cas, il est nécessaire d'installer des systèmes de refroidissement spécifiques.
- Limitations géographiques : la chaleur produite est difficile à transporter, l'installation de production doit donc être située à proximité du lieu de consommation.

1.8 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons représenté la généralité sur le système de cogénération, et la classification ce système, en plus de ça les avantage et inconvénients. La cogénération représente une avancée significative dans la gestion énergétique moderne, permettent de produire simultanément l'énergie chaleur et énergie électrique, ce procédé optimise l'utilisation des ressources en réduisent les pertes d'énergie.

Chapitre 2

Etat de l'art

sur les capteurs

hybrides PVT

Chapitre 2. Etat de l'art sur les capteurs hybrides PVT

2.1 Introduction

L'énergie solaire est une source d'énergie qui dépend du soleil. Cette énergie permet de produire de l'électricité à partir de panneaux photovoltaïques, la majeure partie du rayonnement solaire absorbé par une cellule solaire n'est pas convertie en énergie électrique, ce qui entraîne une augmentation de sa température et donc une diminution de son efficacité de production d'électricité. Les capteurs solaires hybrides PV/T sont des systèmes qui utilisent des panneaux photovoltaïques comme dissipateurs thermiques. En utilisant un fluide caloporteur pour récupérer une partie de la chaleur émise par les panneaux photovoltaïques, ces capteurs solaires hybrides peuvent produire simultanément Énergie thermique et électrique. Dans ce chapitre vise principalement l'état de l'art sur les capteurs hybrides PVT et leurs définitions, et principe de fonctionnement, en plus les différents types de capteur PVT.

2.2 Définition le capteur hybride PVT

Le capteur photovoltaïque thermique (PV/T) est un capteur solaire hybride qui permet cela Convertir une partie de l'énergie solaire captée en électricité et récupérer l'autre partie, Il se perd généralement dans la chaleur. Le concept consiste en la superposition des deux fonctions Énergie électrique et thermique. Dans ce type de composants hybrides, les cellules photovoltaïques Il agit comme un absorbeur de chaleur et est refroidi par la circulation du fluide Transfert de chaleur sur la face arrière. La récupération de la chaleur permet de refroidir le module PV et d'augmenter le rendement électrique [16]. Efficace en surface, le PVT optimise de cette façon l'espace dédié à la production d'énergie et s'intègre parfaitement au bâtiment, secteur où la consommation d'énergie est très accrue et où la surface dédiée à la production d'énergie est souvent limitée. [17]

Il existe de nombreuses configurations de capteurs et elles diffèrent principalement en fonction de la nature du capteur Le liquide utilisé (eau, air ou liquide double) dépend du type de dispositif d'absorption (surface, condenseur). [18]

2.3 Fonctionnement des capteurs PVT

Dans les capteurs hybrides, les deux faces sont utilisées, côté soleil, tout fonctionne comme sur n'importe quel panneau photovoltaïque, les cellules produisent de l'électricité. Côté intérieur, une plaque absorbante capte la chaleur du soleil et celle produite par les cellules PV au-dessus d'elle. L'énergie thermique est transférée ensuite au fluide caloporteur qui circule

dans un échangeur en dessous de la plaque. Ce procédé permet une réduction de la température du module PV de 20 %, ce qui conduit à une augmentation du rendement électrique de 9% par rapport aux performances d'un panneau PV classique [17], [19].

Dans la figure 2.1 c'est un présentation d'un capteur PVT intégré dans l'habitation, elle se compose d'un deux capteurs PVT à air et à eau, et un ballon de stockage d'eau chaud avec un échangeur thermique, et un composent électronique (onduleur- régulateur)

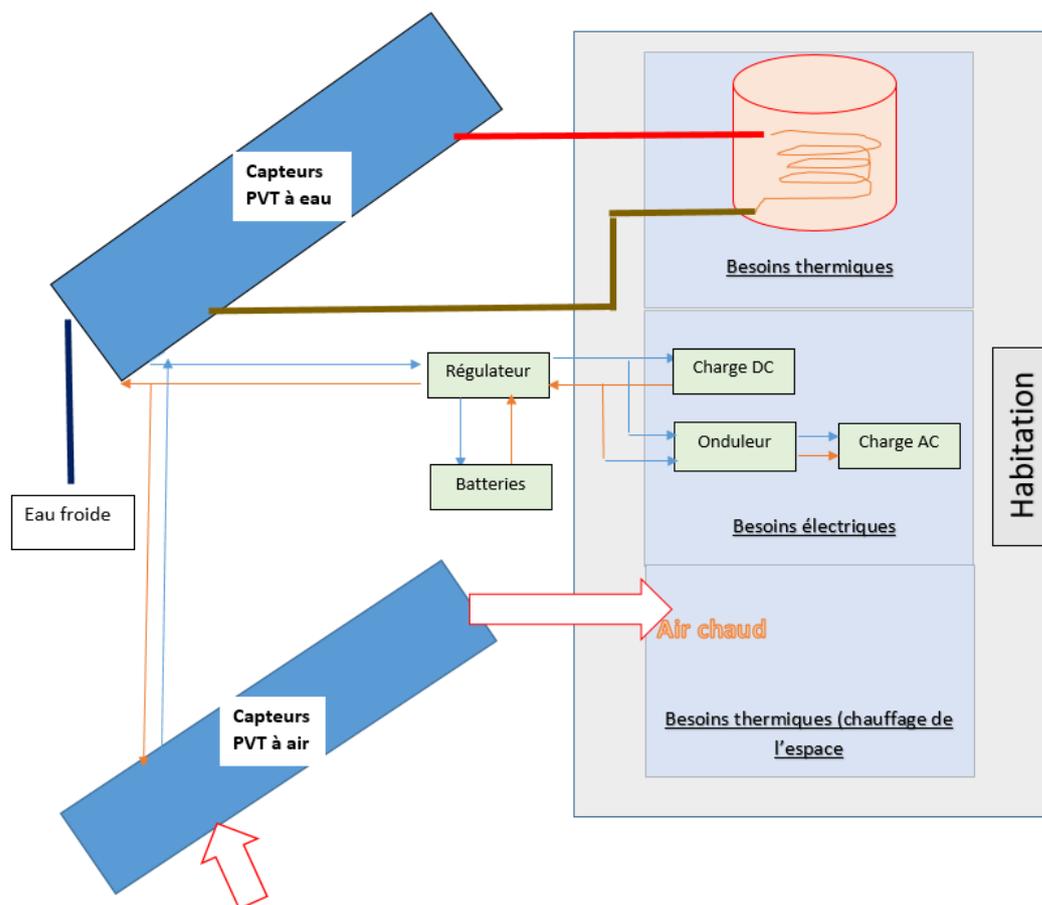


Figure 2.1 Schéma de fonctionnement d'un système PV/T

Une illustration des différentes couches constituant un capteur PVT est présentée par la Figure 2.2 La recherche s'intéresse à toutes les variantes possibles de la réception du flux solaire, à l'isolation en face avant et arrière, au choix de la technologie photovoltaïque, en passant par ceux des matériaux et de la géométrie de l'échangeur ou encore du type de fluide, le but étant d'optimiser le transfert d'énergie et de réduire les pertes au minimum. Les performances du capteur PVT sont représentées par les rendements électrique et thermique des collecteurs PVT. Ils ont été étudiés par de nombreux chercheurs et l'effet de la température sur

ces performances a été analysé. [20 ,21]. De nouvelles configurations de capteurs voient le jour. Il est à souligner que Le PVT offre une meilleure proposition par rapport aux systèmes PV même dans les régions peu ensoleillées [22,23].

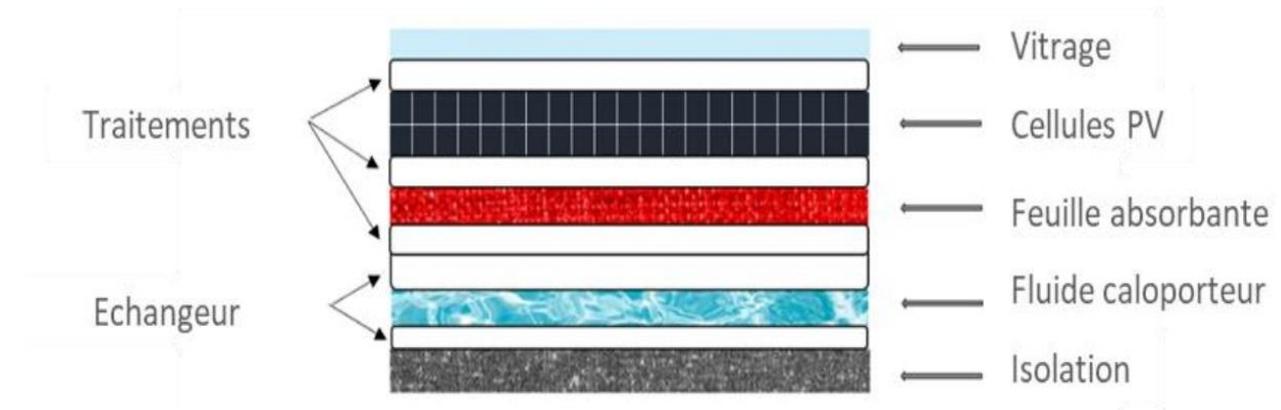


Figure 2.2: Module hybride PVT – vue en coupe. [17]

Le concept du capteur thermique photovoltaïque hybride repose sur la combinaison de deux fonctions : électricité et chaleur. Il se caractérise par une combinaison de couches séparant l'air de l'eau. Le fluide caloporteur est canalisé et permet une circulation forcée,

2.4 Classification des systèmes PV/T

Les systèmes PVT sont généralement classés selon le système d'extraction de chaleur et le fluide de travail. Ils peuvent également être classés selon qu'ils sont à rayonnement concentrant ou non concentrant, [24], [25] la figure 2.3 représente la classification des capteur PVT, elle est devisé en :

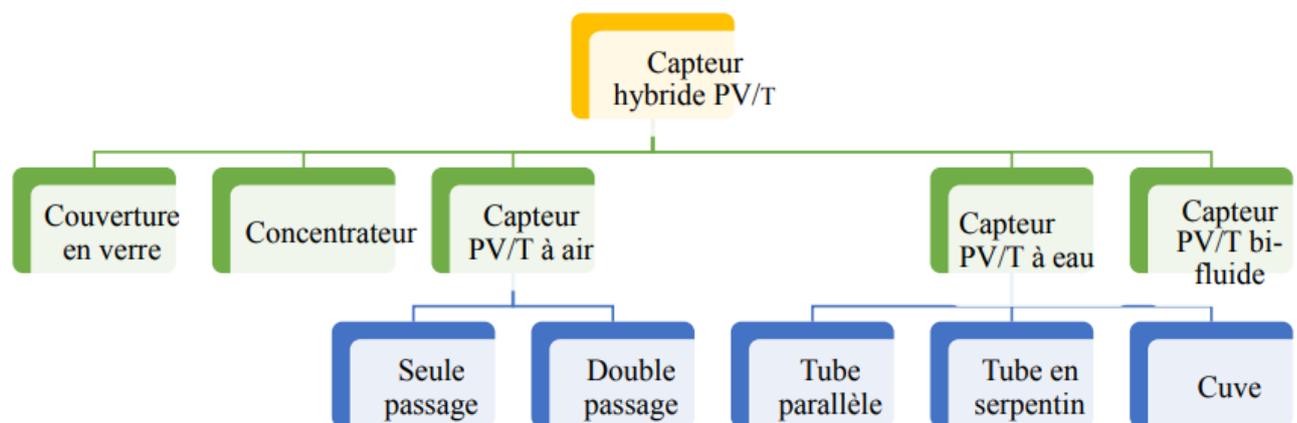


Figure 2.3 : Classification des capteurs hybrides PV/T

2.5. Systèmes PVT non concentrés

Les systèmes photovoltaïques non concentrés sont les plus simples. Les systèmes PVT utilisent le rayonnement naturel sans aucun dispositif de concentration. Selon le fluide utilisé pour extraire la chaleur du module photovoltaïque, ces systèmes sont classés en systèmes à eau et à air.

2.5.1. Capteurs solaires PVT à air :

Dans ces types de systèmes PVT, l'air est utilisé comme moyen d'extraction de la chaleur des modules PV. La littérature disponible se compose principalement d'analyses des performances théoriques et expérimentales des systèmes PVT.

Bambrook et al. [26] ont mené une étude expérimentale sur un système PVT à air simple passage, non vitré et en boucle ouverte à Sydney (Figure 2.23). Le système à air PVT expérimental a démontré une augmentation des rendements thermiques et électriques PV avec l'augmentation du débit massique d'air, avec des rendements thermiques allant de 28 à 55 % et des rendements électriques PV entre 10,6 % et 12,2 % à midi.

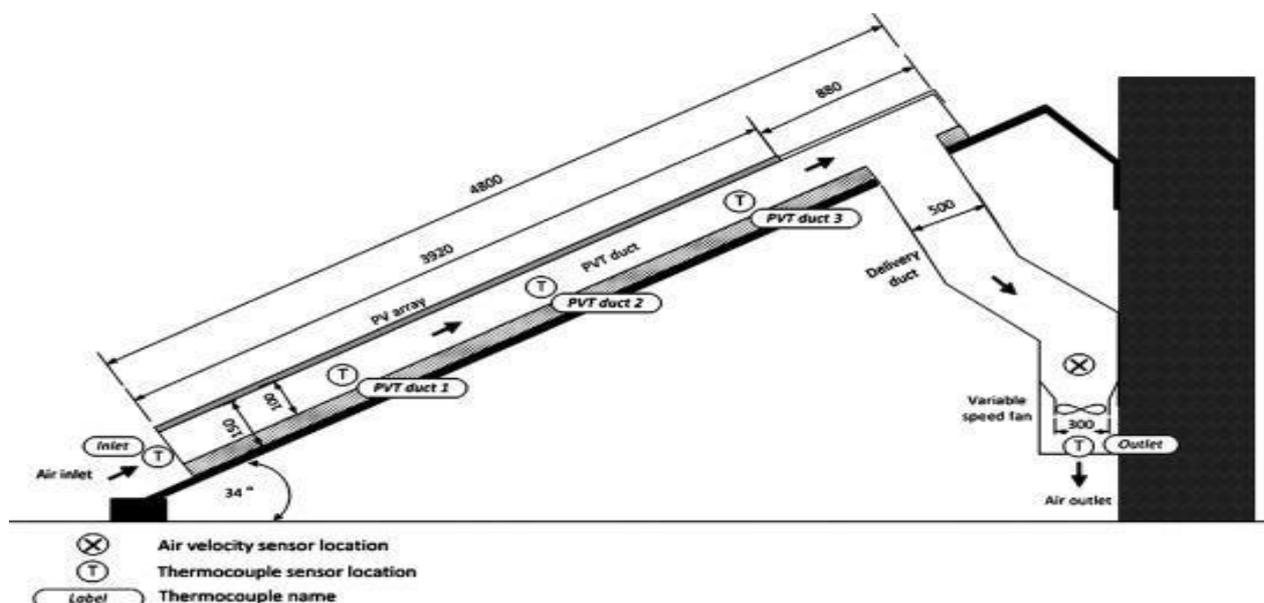


Figure 2.4: Système PVT de type air en boucle ouverte [65].

Agrawal et al. [27] ont mené des expériences en extérieur sur des capteurs en verre de type air à New Delhi, en Inde, tout au long de l'année. (Figure 2.4) La production thermique du système a été utilisée pour le chauffage des locaux et le séchage des récoltes. Les gains thermiques et électriques mensuels ont été calculés. Sur la base des expériences, la période de récupération énergétique du système s'est avérée être de 1,8 an. Sur la base de la consommation énergétique

globale, le système PVT installé permettrait d'éviter environ 76,50 tonnes d'émissions de dioxyde de carbone provenant des centrales électriques conventionnelles.

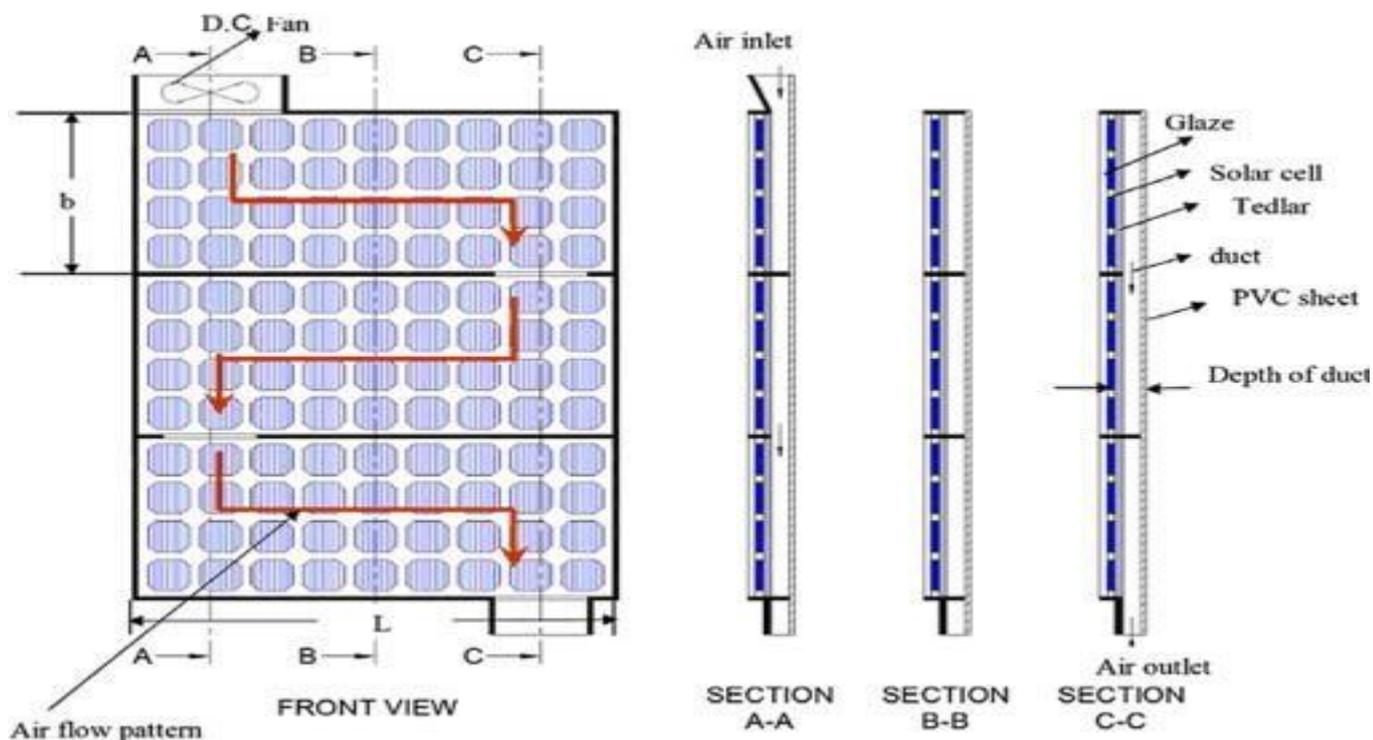


Figure 2.5: Système PVT de type vitré à air [27]

El Amine Slimani et al. [28] ont analysé les performances électriques d'un système PVT à air simple, double passage et vitré. Comme le montre la figure 2.6, les performances de quatre configurations différentes ont été étudiées : un module photovoltaïque monopasse, un PVT à air conventionnel, un PVT vitré monopasse et un PVT vitré double-passe. Globalement, le PVT double-passe s'est révélé plus performant.

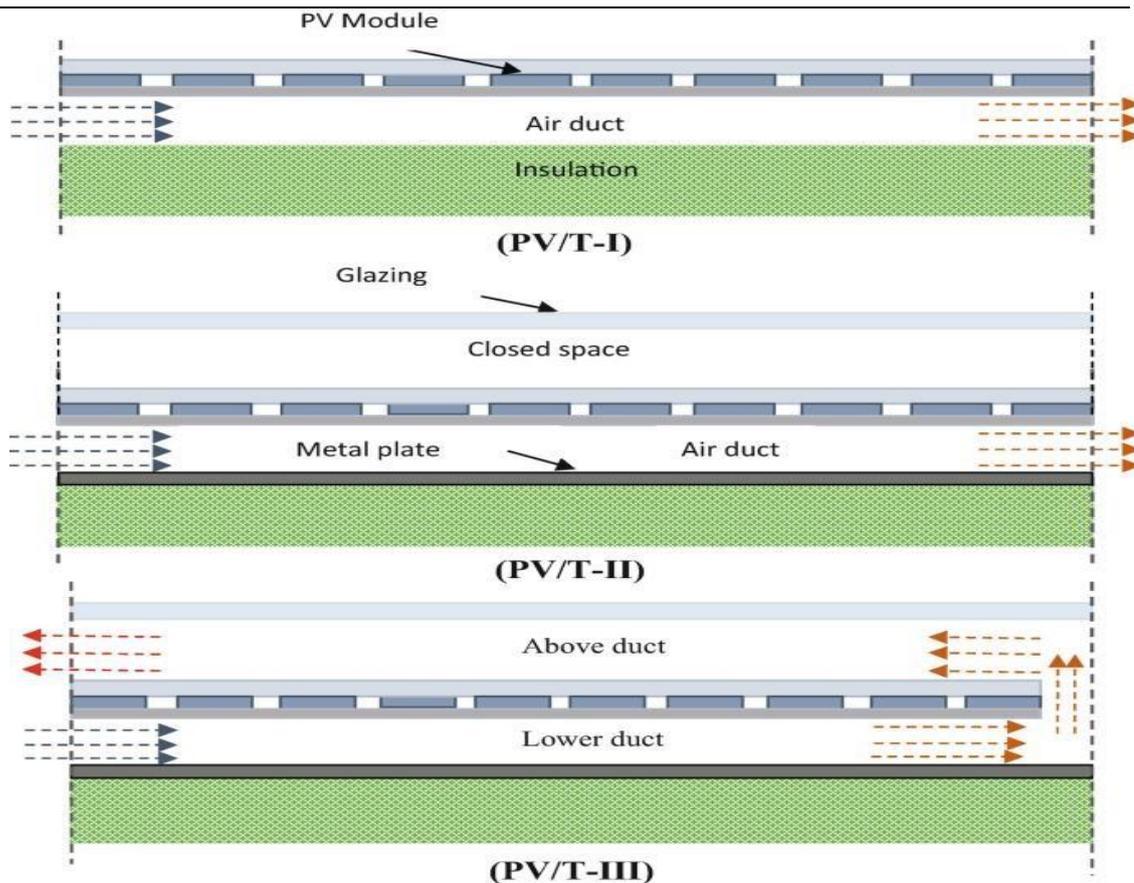


Figure 2.6: Différentes configurations de systèmes PVT à air [28].

Les modèles théoriques servent à calculer ou prédire la production thermique des capteurs hybrides. Ces modèles se basent sur la distribution du flux de la chaleur dans les différentes couches du capteur hybride (voir la figure 2.7). [29].

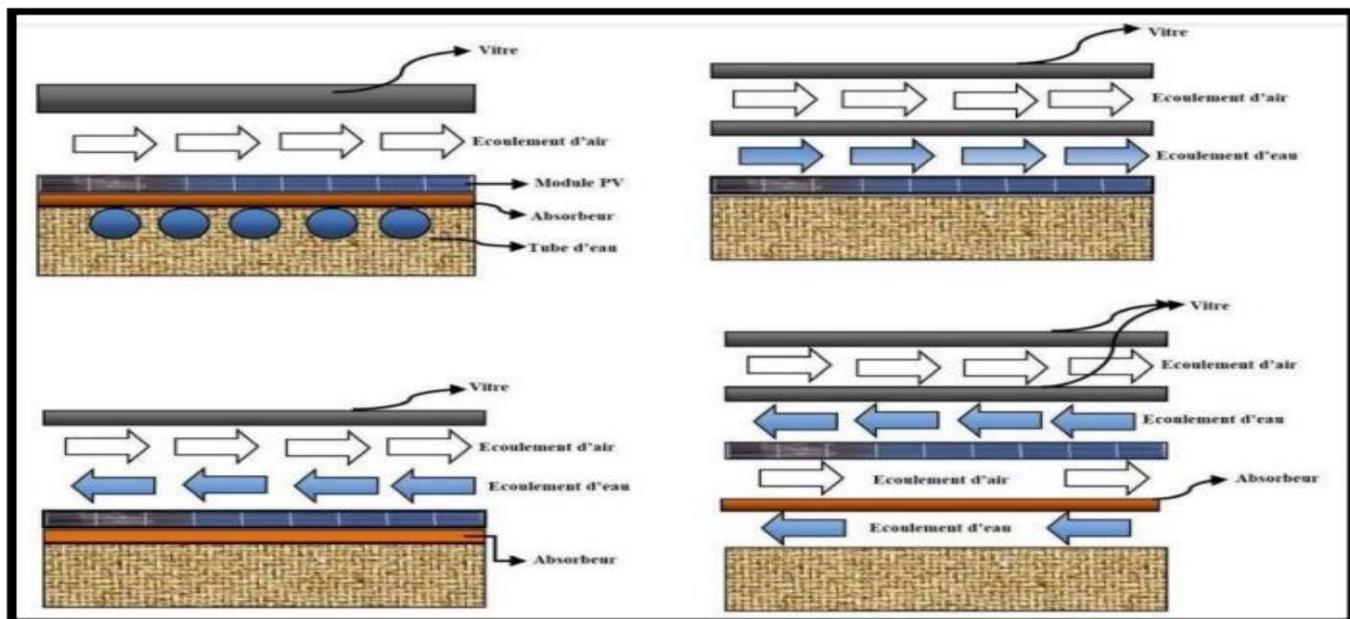


Figure 2.7 : Capteur solaire hybride PV/T à air [29]

Ce type de capteur relativement simple, est constitué d'une couche absorbante à dos isolé, refroidi par un courant d'air circulant entre l'absorbeur et un couvercle de verre. On peut augmenter sa surface d'échange de chaleur en donnant à l'absorbeur soit un pouvoir émissif élevé, soit surface striée ou rainurée.

En 2006, Tiwari et al présentent l'étude théorique et expérimentale en régime permanent d'un capteur solaire PV/T à air ventilé naturellement ou mécaniquement. Ce capteur solaire est constitué de deux modules PV de 0.61 m² de surface chacun, connectés en série et montés sur une couche isolante non-corrosive de Tedlar. Le module PV est composé de cellules photovoltaïques collées entre elles par l'intermédiaire d'une couche d'EVA et protégées par une couche de verre. Ce composant a été intégré à un banc d'essai en acier inclinable et monté à New Delhi, en Inde (figure 2.8). Des ventilateurs disposés à l'entrée de la lame d'air située entre le Tedlar et une couche isolante en bois permettent la ventilation forcée des modules PV en face arrière. L'énergie électrique produite est stockée dans une batterie électrique. Cette analyse a montré que la récupération complémentaire de l'énergie thermique produite permet une amélioration du rendement global du système PV/T à air d'environ 18 %. [30]

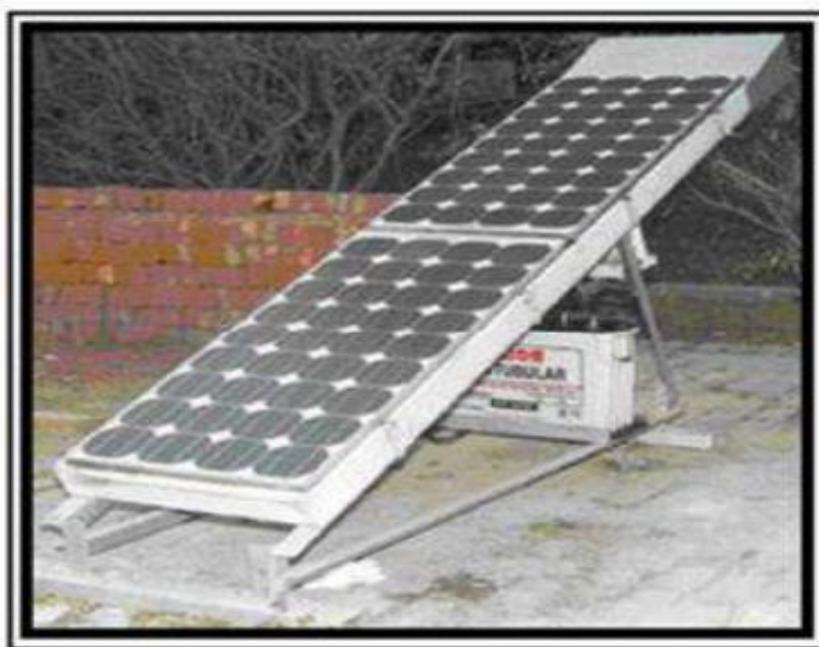


Figure 2.8 : Banc d'essai du capteur solaire PV/T hybride à air

2.5.2. Capteurs solaires hybrides PV/T à eau

Dans ces capteurs, le fluide caloporteur est l'eau qui circule à l'intérieur des tuyaux en contact avec l'absorbeur pour récupérer la chaleur. Le fluide caloporteur peut circuler soit par

une pompe, soit par la différence de densité du fluide caloporteur (un système gravitationnel), l'eau est utilisée pour l'eau chaude sanitaire. La figure 2.9 représente un capteur solaire hybride à eau.

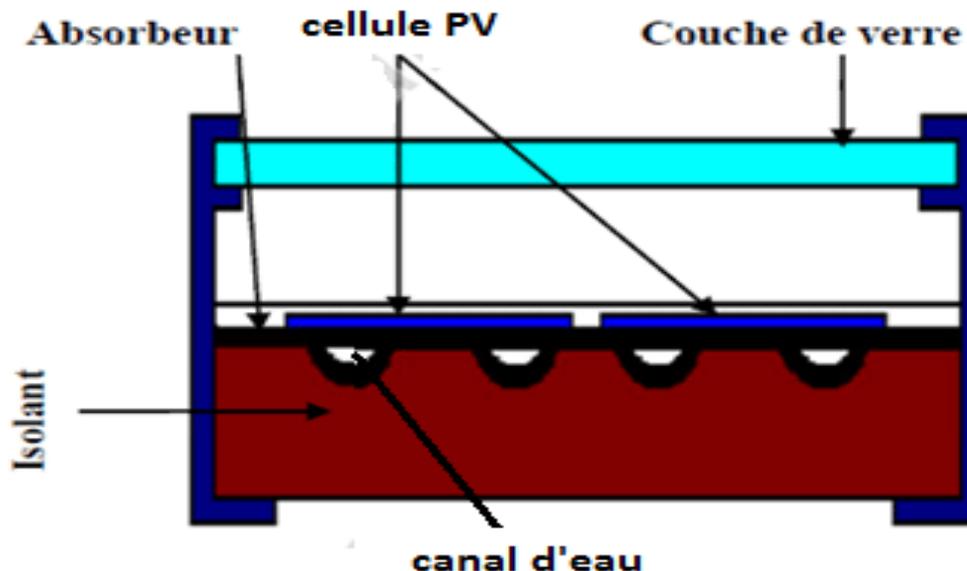


Figure 2.9 : Capteur solaire hybride à eau

Il existe déjà des modèles de PV-T commercialisés pour les bâtiments résidentiels, les bâtiments individuels ou collectifs tels que les PV-T du leader français Dual Sun. La figure II.33 montre un PV-T à double production d'énergie sous forme d'électricité et de chaleur, avec un seul panneau, sans augmentation de taille par rapport à un panneau photovoltaïque standard, Cette innovation permet de répondre à l'ensemble des besoins énergétiques des bâtiments en minimisant la surface occupée en toiture.

2.5.3. Capteurs solaires hybrides PV/T bi-fluide

Une nouvelle conception de capteur solaire hybride a été développée, intégrant l'utilisation de l'eau et de l'air comme fluides de fonctionnement. Afin de fournir simultanément de l'eau chaude, de l'air chaud et de l'électricité, des refroidisseurs d'air et d'eau ont été intégrés dans un système appelé système hybride bi-fluide PV/T. Cela permet de surmonter les limites de leur utilisation séparée en tant que fluide de refroidissement unique. Le capteur solaire bi-fluide PV/T a été introduit pour la première fois par Tripanagnostopoulos. Toutefois, ses recherches se sont principalement concentrées sur les études expérimentales du capteur en mode de fonctionnement indépendant des fluides. [31]

Rukman et al. [32] ont passé en revue plusieurs études sur le système bifluide PV/T. Ces systèmes permettent de refroidir l'arrière du module PV avec deux fluides, assurant ainsi un refroidissement efficace des cellules photovoltaïques et une utilisation simultanée de la chaleur extraite pour un usage domestique. Ils ont enregistré une amélioration de l'efficacité du module PV, des systèmes thermiques et PV/T Bi-fluide atteinte dans la plage de 6,6 à 18,6 %, 31 à 90 % et 60 à 83 %, respectivement. Récemment, Jarimi et al. [33] se sont concentrés sur l'analyse numérique des performances thermiques d'un capteur solaire PV/T Bi-fluide. Ce système hybride a été conçu pour comparer ses performances thermiques et ses exigences de température dans les applications de séchage solaire. [34] Cette étude expérimentale et théorique d'un capteur solaire PVT de type bi-fluide (**Figure 2.10**) pour simulation 2D dans un état stable a été faite avec l'aide de MATLAB. Les tests montrent les trois manières de travailler du liquide dans le même système PVT, qui sont, les manières à air, eau et eau-air. Les résultats de la simulation ont été vérifiés avec les résultats expérimentaux et une bonne concordance a été observée. Le capteur PVT créé grâce à cette recherche peut avoir de multiples utilisations car il fonctionne selon trois modes différents.

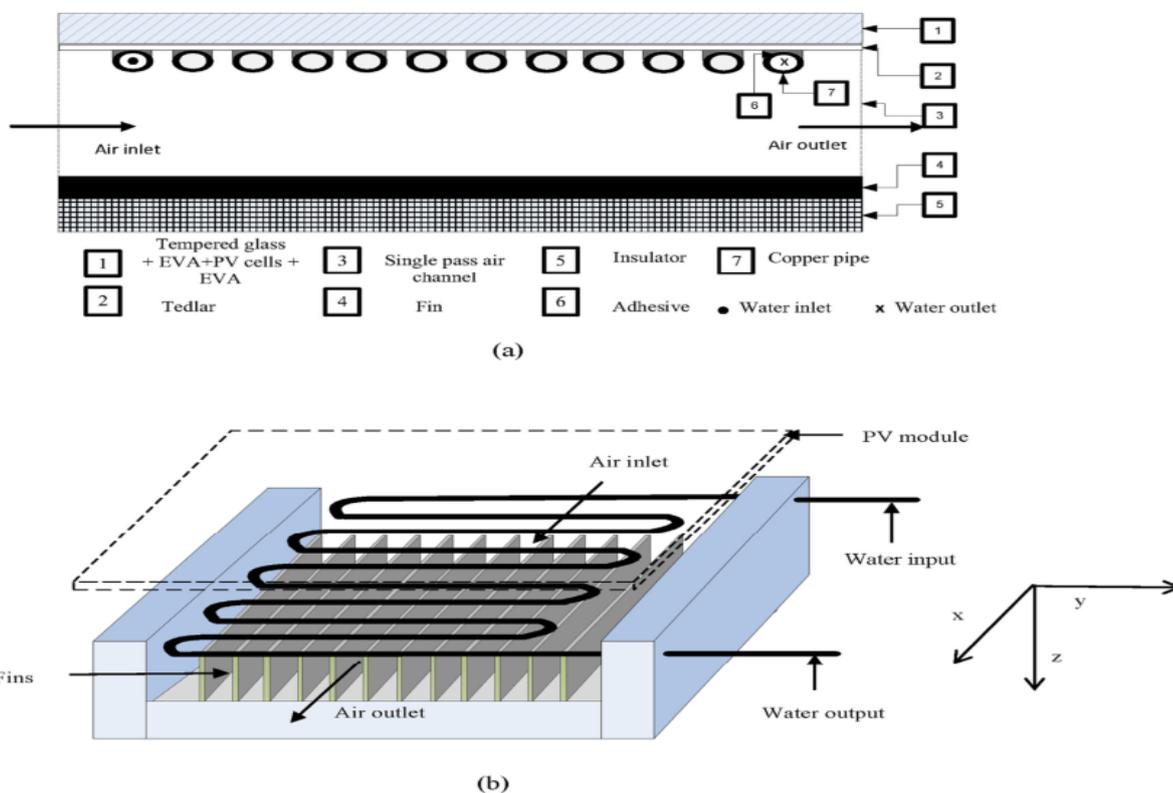


Figure. 2.10. a) Vue en coupe b) Vue en perspective du capteur PVT bi-fluide [34].

Abdul Hamid et al. [35], ont examiné différentes conceptions dérivées de systèmes hybrides PV/T Combi. Les résultats obtenus ont montré que l'utilisation de la technologie de combinaison thermique photovoltaïque PV/T Combi est adaptée pour couvrir les limites et les faiblesses de l'utilisation séparée des systèmes de capteurs PV/T à eau ou PV/T à air.

2.6. Systèmes PVT concentrés

2.6.1 Capteur solaire hybride à concentration CPVT

Le capteur PVT à concentration veut dire la concentration du rayonnement solaire sur un capteur hybride PVT. Actuellement, la recherche s'oriente vers le développement des capteurs CPVT pour générer plus d'électricité et de chaleur. Cependant, peu de travaux existent dans ce domaine pour assurer un meilleur développement de ces systèmes et de subvenir à la demande croissante d'énergie, tant électrique que thermique, en protégeant l'environnement.

Les systèmes photovoltaïques à concentration (CPV) peuvent fonctionner à des températures plus élevées que les capteurs plans, la collecte de chaleur est les systèmes CPV ont donné naissance aux systèmes CPV/thermiques (CPV/T), qui peuvent fournir à la fois de l'électricité et Chaleur à température moyenne. CPV/T et les réflecteurs se concentrent sur un énorme potentiel d'augmentation des rendements l'énergie provenant d'une surface de cellule solaire donnée. La recherche actuelle portera sur développer des capteurs solaires thermiques CPV/T pour produire plus d'électricité et produit de la chaleur. Les chercheurs travaillent déjà dans ce sens. Groupe motopropulseur hybride polyvalent pour répondre à la demande énergétique croissante il permet d'économiser de l'énergie et de l'électricité tout en protégeant l'environnement [36], la figure 2.11 sont photos de quelques photos de type des capteurs à concentration.



Figure 2.11 : Capteur à concentration

2.7 Avantages et Inconvénients de système hybride PV/T

2.7.1 Avantages :

Efficacité et un rendement supérieure : on peut espérer 20% de rendement en plus pour un panneau hybride par rapport à un panneau solaire classique.

Optimisation de l'espace : on peut utiliser le système PVT de le même espace pour la production l'électricité et la chaleur, par un seul panneau remplace deux système distincts.

Il permet de réaliser des économies sur les factures d'électricité et des économies des chauffages.

Réduction des coûts : En utilisant un système hybride PV/T, pour possible de réduire le coûts total d'installation et d'exploitation par rapport aux installations de systèmes séparés énergie photovoltaïque et énergie thermique.

2.7.2 Inconvénients :

Un fonctionnement conditionné à la météo : Elle est variable dans le temps. Sous les climats tempérés, cette variation est surtout importante en fonction des saisons.

Coût élevé : le prix d'installation de ces systèmes est généralement plus élevé que celui des panneaux photovoltaïques ou thermique classique, à cause la technologie de systèmes hybrides est plus complexe et plus récente, ce qui augmente son coût.

La difficulté d'installation : Les systèmes hybrides PV/T sont généralement plus complexes

La solution technique est supérieure aux systèmes photovoltaïques ou thermiques autonomes. Ils nécessitent des composants supplémentaires tels que des échangeurs de chaleur et des systèmes de contrôle optimiser les opérations globales. Cela peut entraîner des frais supplémentaires conception, installation et maintenance.

2.8 Conclusion

Les systèmes PV/T sont des dispositifs très prometteurs pour exploiter l'énergie solaire dans les applications photovoltaïques et thermiques. Cette caractéristique remarquable repose sur leur simplicité de conception et de fonctionnement.

Pour les applications dans les capteurs hybrides, différents types de capteurs thermiques photovoltaïques hybrides (PVT) basés sur de nouveaux matériaux de cellules photovoltaïques

ont été développés, tels que des semi-conducteurs binaires, ternaires et quaternaires, ainsi que des matériaux organiques.

Les systèmes PV à eau peuvent être utilisés pour les systèmes de chauffage d'eau chaude sanitaire classiques à plaques planes, le préchauffage de l'eau pour le dessalement et le préchauffage de l'eau pour les procédés industriels. Cependant, le gel de l'eau (dans les régions froides) peut limiter leur utilisation.

Les systèmes PVT à air conviennent le mieux aux applications de chauffage des locaux dans les régions froides.

La plupart du temps, les systèmes PVT de type air sont intégrés aux bâtiments (BIPVT building integrated Photovoltaic thermal).

Chapitre 3

Modélisation

d'un système

de cogénération à base

de capteurs hybrides

PVT

Chapitre 3. Modélisation d'un système de cogénération à base de capteurs hybrides**PVT****3.1 Introduction**

Un capteur hybride photovoltaïque thermique (PV/T) associe un capteur solaire plan et un module photovoltaïque (cristallin ou amorphe) permettant ainsi, à partir du rayonnement solaire, de produire simultanément de l'électricité et de la chaleur. Il permet de réaliser une véritable cogénération énergétique en permettant d'exploiter l'électricité et la chaleur produites. Cette cogénération énergétique rend évidemment très intéressante l'utilisation de tels systèmes dans divers domaines notamment habitat et agricole.

Durant le fonctionnement réel des modules photovoltaïques, la caractérisation expérimentale montre que le rendement électrique diminue de façon significative avec la montée en température des cellules photovoltaïques exposées au soleil. La perte d'énergie électrique peut attendre 15% à 20% si aucun refroidissement du module n'est prévu [37]

Nous allons présenter dans ce chapitre le bilan énergétique du capteur PVT. Par suite la modélisation des panneaux photovoltaïques et les modèles mathématiques des différents paramètres électriques de panneau photovoltaïque.

3.2 Bilan énergétique du capteur PVT

Le système étudié se compose essentiellement du panneau photovoltaïque qui a le rôle de transformer le rayonnement solaire en énergie électrique, il se compose de trois couches : la première c'est une couche du verre qui est la face exposée au rayonnement incident, la deuxième couche qui contenant les cellules photovoltaïques et la troisième couche protectrice qui est le Tedlar. Une plaque absorbante de la chaleur a été utilisée à un type de l'Acier galvanisé, un tube ; qui est généralement soudé sur la plaque absorbante pour avoir un bon contact thermique entre les deux composants, le tube une entrée et une sortie où le fluide caloporteur distribué pour évacuer la chaleur emmagasinée par la surface absorbante. Finalement, et pour minimiser les pertes calorifiques du système, il faut isoler ses parois par une ou plusieurs couches d'isolant.

Une revue bibliographique des études réalisées sur les analyses énergétiques et exégétiques du capteur solaire hybride (PV/T), le capteur étudié est un modèle de 9 nœuds, Les différents nœuds du ce capteur solaire hybride sont indiqués sur la figure 3.1 comme suite [38], [39] ,[40]:

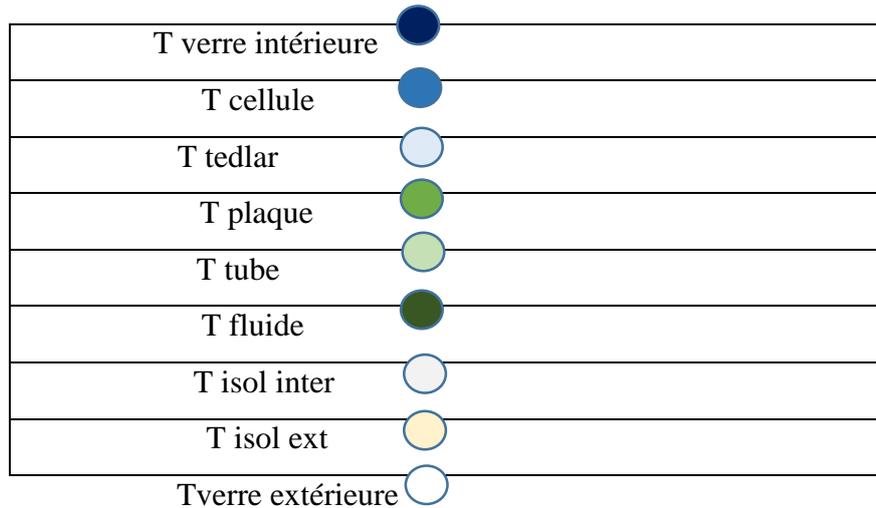


Figure 3.1: Coupe du capteur représentant les températures des différents nœuds.

L'énergie thermique fournie par le rayonnement solaire est donnée comme suit [38] :

$$Q_{\text{sun}} = A_{\text{verre}} \times G \times \tau_{\text{verre}} \times \alpha_{\text{cel}} \dots\dots\dots (3.1)$$

A_{verre} : Surface du verre (m²).

G : Rayonnement directe totale absorbée par la cellule solaire (W/m²).

τ_{verre} : Transmittivité du verre.

α_{cellule} : Coefficient d'absorptivité de la cellule solaire.

Puisque le verre étant opaque au rayonnement émis par les cellules, le verre devient la surface émettrice et la perte de chaleur par rayonnement est exprimée comme comme suite :

$$Q_{\text{rad v-a}} = \sigma \times \epsilon_v \times A_{\text{verre}} \times (T_{\text{verre}}^4 - T_{\text{ciel}}^4) \dots\dots\dots(3.2)$$

Avec :

σ : Constante de Stefan-Boltzmann en (W/ m² K⁴)

ϵ_v : Émissivité du verre

A_{verre} : Surface du verre en (m²)

$$T_{\text{ciel}} = 0.0552 \times (T_a)^{1.5}$$

Nous avons exprimé les pertes thermiques par convection par l'équation de transfert de chaleur entre le verre du capteur hybride et le milieu extérieur comme suit :

$$Q_{conv\ v-a} = h_{c-a} \times A_v \times (T_v - T_a) \dots\dots\dots(3.3)$$

Avec :

T_v : Température du verre du capteur hybride (K)

T_a : Température ambiante (K)

h_{c-a} : Coefficient de transfert convectif qui est fonction de la vitesse du vent en (W/m²K), il est donné par l'expression suivante [41] :

$$h_{c-a} = 2.8 + 3.0V_{vent}$$

3.2.1 Bilan énergétique pour la face extérieure du verre

L'équation de l'énergie au niveau du verre ; face extérieur est comme suit :

$$MvCv = Q_{sun} - Q_{rad\ v-ciel} - Q_{conv\ v-a} - Q_{cond\ v} \dots\dots\dots(3.4)$$

$$MvCv = A_v G - \zeta \epsilon_v A_v (T_{4v\ ext} - T_{4ciel}) - h_{c,a} A_v (T_v - T_a) - h_{cond\ v} A_v (T_{v\ ext} - T_{v\ int}) \dots\dots(3.5)$$

$$h_{cond\ v} = \frac{\lambda_v}{\delta_v} \dots\dots\dots(3.6)$$

λ_v : La conductivité thermique du verre

δ_v : L'épaisseur de verre

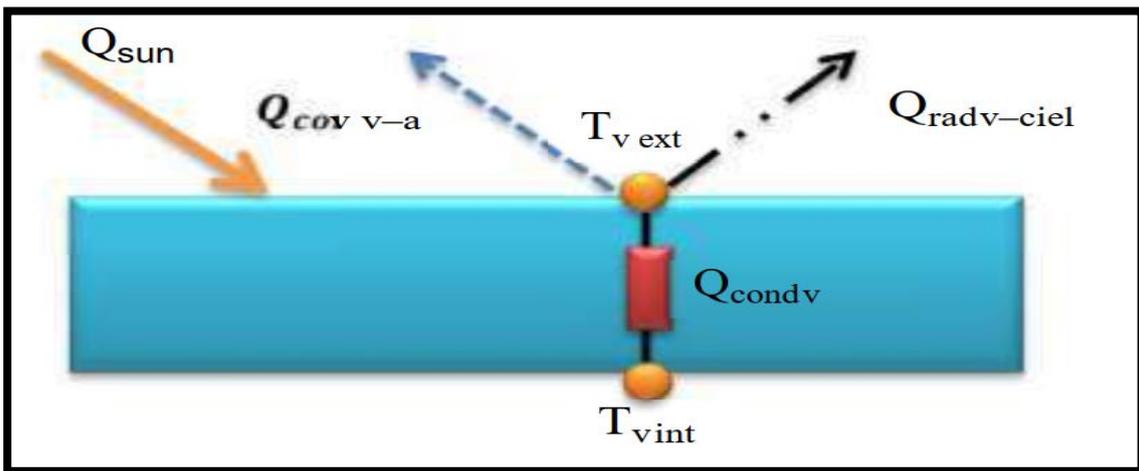


Figure 3.2: schéma représentant l'échange thermique au la niveau le vitre face extérieure. [39]

3.2.2 Bilan énergétique pour la face intérieure du verre

L'équation de l'énergie au niveau du verre ; face intérieure est comme suit :

$$M_v C_v \frac{dT_{v \text{ int}}}{dt} = Q_{\text{sun}} + Q_{\text{cond v}} - Q_{\text{cond v-ciel}} \dots\dots\dots(3.7)$$

$$M_v C_v \frac{dT_{v \text{ int}}}{dt} = A_v G \tau_{\text{verre}} + h_{\text{con v}} A_v (T_{v \text{ ext}} - T_{v \text{ int}}) - h_{\text{cond v-ciel}} A_v (T_{v \text{ int}} - T_{v \text{ ciel}}) \dots\dots\dots (3.8)$$

$$h_{\text{cond v-ciel}} = \frac{\lambda_{\text{ciel}}}{\delta_{\text{ciel}}} \dots\dots\dots (3.9)$$

λ_{ciel} : La conductivité thermique du verre

δ_{ciel} : L'épaisseur de verre

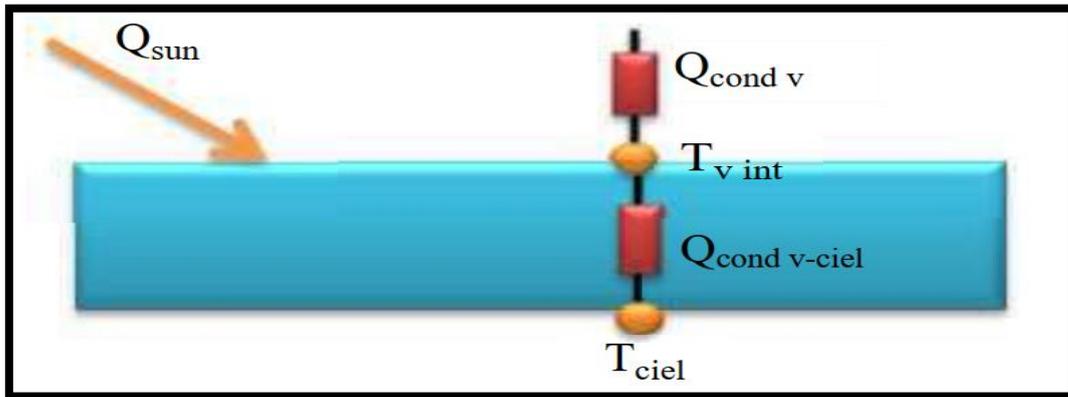


Figure 3.3 : schéma représentant l'échange thermique au la niveau le vitre face intérieure. [39]

3.2.3 Bilan énergétique pour la cellule solaire

L'équation de l'énergie au niveau de la cellule photovoltaïque est comme suivie :

$$M_{\text{ciel}} C_{\text{ciel}} \frac{dT_{\text{ciel}}}{dt} = A_v G \tau_{\text{verre}} \alpha_{\text{ciel}} + Q_{\text{cond v-ciel}} - Q_{\text{cond ciel}} - t_{\text{ed}} - Q_{\text{ele}} \dots\dots\dots(3.10)$$

$$M_{\text{ciel}} C_{\text{ciel}} \frac{dT_{\text{ciel}}}{dt} = A_v G \tau_{\text{verre}} \alpha_{\text{ciel}} + h_{\text{cond v-ciel}} A_v (T_{v \text{ int}} - T_{v \text{ ciel}}) - h_{\text{cond ciel}} - t_{\text{ed}} A_{\text{ciel}} (T_{\text{ciel}} - T_{\text{ted}}) - Q_{\text{ele}} \dots\dots\dots(3.11)$$

$$h_{\text{cond ciel}} = \frac{\lambda_{\text{ciel}}}{\delta_{\text{ciel}}} \dots\dots\dots(3.12)$$

$$h_{\text{cond ciel}} - t_{\text{ed}} = \frac{\lambda_{\text{ted}}}{\delta_{\text{ted}}} \dots\dots\dots(3.13)$$

$$Q_{\text{ele}} = \frac{Q_{\text{sun}}}{\alpha_{\text{ciel}}} \eta_{\text{ref}} \exp [\beta (T_{\text{ciel}} - T_{\text{ref}})] \dots\dots\dots(3.14)$$

η_{ref} : Est le rendement de référence est mesuré pour une température de référence T_{ref} prise égale à 25°C.

β : Le coefficient de température qui représente la relation entre le rendement de la cellule solaire et la température (environ 0.004 pour une cellule solaire au silicium) [41].

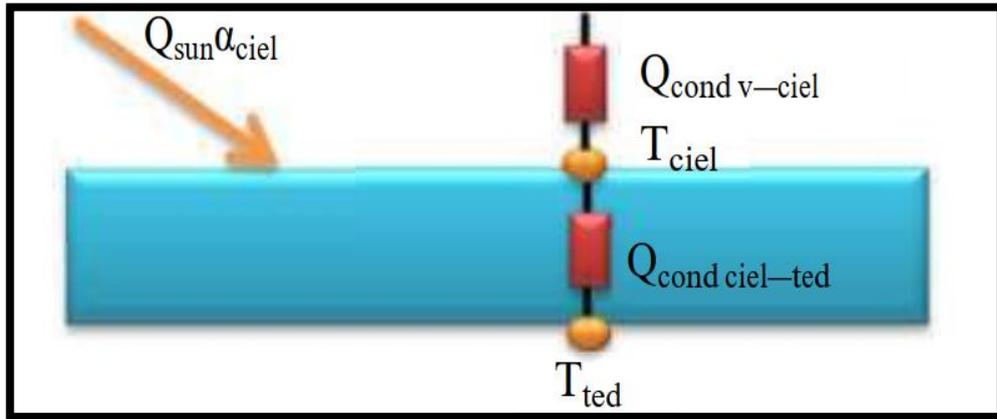


Figure 3.4 : schéma représentant l'échange thermique au la niveau de la cellule photovoltaïque. [39]

3.2.4 Bilan énergétique pour la couche de Tedlar :

L'équation de l'énergie au niveau de la couche de Tedlar est donnée comme suit :

$$M_{ted}C_{ted} \frac{dT_{ted}}{dt} = Q_{cond \text{ ciel-ted}} - Q_{cond \text{ ted-p}} \dots\dots\dots(3.15)$$

$$M_{ted}C_{ted} = h_{cond \text{ ted}} A_{ted} (T_{ciel} - T_{ted}) - h_{cond \text{ ted-p}} A_{ted} (T_{ted} - T_p) \dots\dots (3.16)$$

$$h_{cond \text{ ted}} = \frac{\lambda_{ted}}{\delta_{ted}} \dots\dots\dots(3.17)$$

$$h_{cond \text{ ted-p}} = 2 \frac{\lambda_p}{\delta_p} \dots\dots\dots(3.18)$$

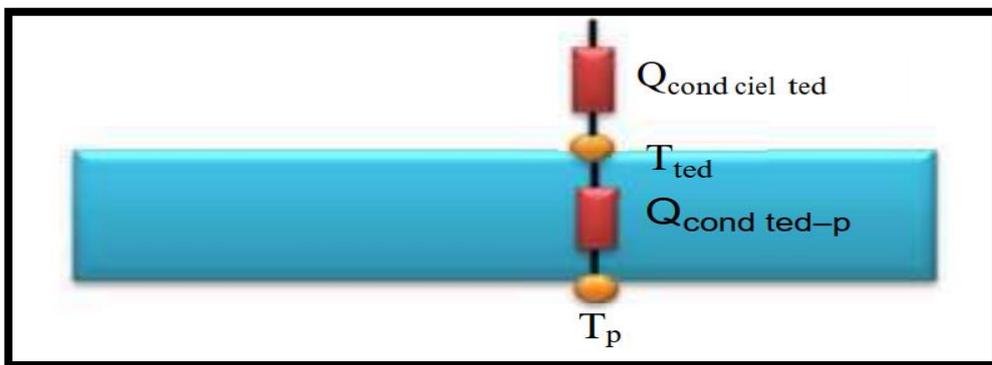


Figure 3.5 : schéma représentant l'échange thermique au la niveau de la couche de tedlar.[39]

3.2.5 Bilan énergétique au niveau de la plaque absorbante :

L'équation de l'énergie au niveau de la couche de la plaque absorbante est donnée comme suit

$$M_p C_p \frac{dT_p}{dt} = Q_{cond\ tube-p} - Q_{cond\ p-tube} - Q_{cond\ p-iso} \dots\dots\dots (3.19)$$

$$M_p C_p \frac{dT_p}{dt} = A_{p-tube} h_{cond\ tube-p} (T_{tube} - T_p) - A_{p-iso} h_{cond\ p-iso} (T_p - T_{iso\ int}) \dots\dots\dots (3.20)$$

La surface de contact entre le tube et la plaque absorbante c'est :

$$A_{p-tube} = A_p \left(\frac{W - D_{ext}}{W} \right) \dots\dots\dots (3.21)$$

La surface de contact entre la plaque absorbante et l'isolant, face intérieure est :

$$A_{p-iso} = A_p \left[1 - \left(\frac{W - D_{ext}}{W} \right) \right] \dots\dots\dots (3.22)$$

$$h_{cond\ p-tube} = \frac{1}{2 \left[\frac{\lambda_p}{\delta_p} + \frac{(D_{ext} - D_{int})}{\lambda_p} \right]} \dots\dots\dots (3.23)$$

Le coefficient de transfert de chaleur par conduction entre la plaque absorbante et l'isolant, face intérieure est :

$$h_{cond\ p-iso} = 2 \frac{\lambda_p}{\delta_p} \dots\dots\dots (3.24)$$

3.2.6 Bilan énergétique au niveau du tube

L'équation de l'énergie au niveau du tube est donnée comme suit :

$$M_t C_t \frac{dT_t}{dt} = Q_{cond\ p-tube} - Q_{conv\ tube-fluide} - Q_{cond\ tube-iso} \dots\dots\dots (3.25)$$

$$M_t C_t \frac{dT_t}{dt} = A_{p-tube} h_{cond\ p-tube} (T_p - T_t) - A_{tube-fluide} h_{conv\ tube-fluide} (T_t - T_f) - A_{tube-iso} h_{cond\ tube-iso} (T_t - T_{iso\ ext}) \dots\dots\dots (3.26)$$

Nous avons considéré que la surface de contact entre le tube et l'isolant est :

$$A_{iso-tube} = \frac{D_{ext}}{2} \pi L \dots\dots\dots (3.27)$$

$$A_{fluide} = \left(\frac{D_{ext}}{2} \right)^2 \pi \dots\dots\dots (3.28)$$

Le : $h_{conv\ t-f}$ est le coefficient de transfert de chaleur de convection entre le fluide et le mur de tube. Pour l'écoulement de l'eau dans le tube :

$$Nu = \frac{h_{conv\ t-f} D_h}{\lambda_f} \dots\dots\dots (3.29)$$

$$D_h = \frac{4 A_{fluide}}{p} \dots\dots\dots (3.30)$$

p : est le périmètre du tube.

3.2.7 Bilan énergétique pour le fluide caloporteur

La distribution de la température dans le sens d'écoulement du fluide, si on considère que le fluide a une température d'entrée T_e et une température de sortie T_c , et les diamètres extérieur et intérieur du tube sont respectivement D_{ext} et D_{int} , pour un segment de l'eau dans le tuyau de communication :

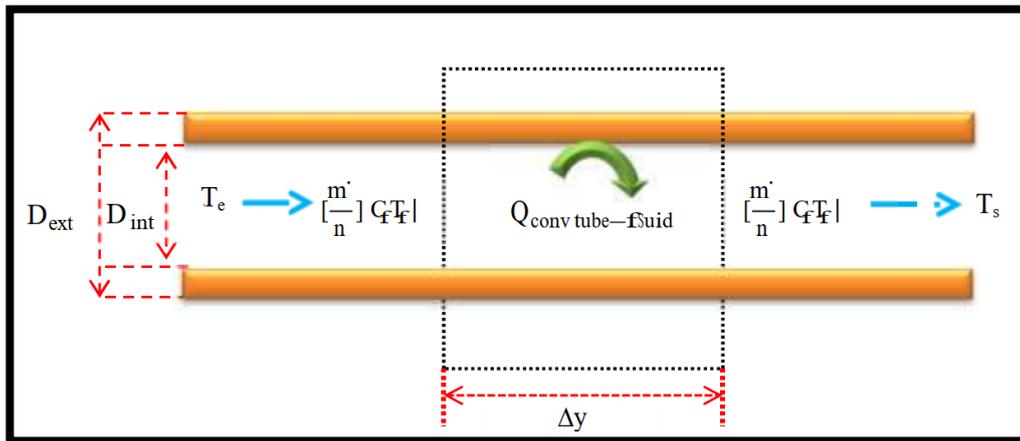


Figure 3.6 : Ecoulement du fluide dans un tube. [39]

L'équation de l'énergie pour le fluide caloporteur est donnée comme suit :

$$MfC_f \frac{dT_f}{dt} = Q_{conv \text{ tube fluide}} - Q_{th} \dots\dots\dots(3.31)$$

$$MfC_f \frac{dT_f}{dt} = A_{fluide} h_{conv \text{ tube - fluide}} (T_f - T_a) + n W F' [S - U_{pa}(T_f - T_a)] \dots\dots\dots(3.32)$$

$$S = [\tau_{verre} \alpha_{ciel} - (\frac{\eta_{ref} A_{ciel}}{A_{capteur}})] G \dots\dots\dots(3.33)$$

3.2.8 Bilan énergétique pour la couche d'isolant :

L'équation de l'énergie au niveau de l'isolant ; face intérieure est donnée par :

$$M_{iso} C_{iso} \frac{dT_{iso \text{ int}}}{dt} = Q_{conv \text{ p - iso}} - Q_{cond \text{ iso}} \dots\dots\dots(3.34)$$

$$M_{iso} C_{iso} \frac{dT_{iso \text{ int}}}{dt} = A_{p-iso} h_{cond \text{ p-iso}} (T_p - T_{iso \text{ int}}) - h_{cond \text{ iso}} A_{iso} (T_{iso \text{ int}} - T_{iso \text{ ext}}) \dots\dots\dots(3.35)$$

$$h_{cond\ iso} = \frac{\lambda_{iso}}{\delta_{iso}} \dots\dots\dots(3.36)$$

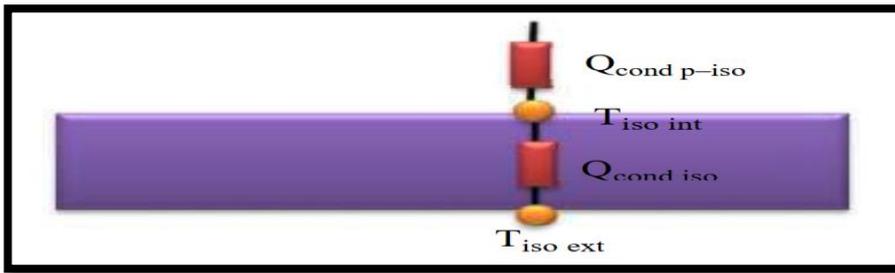


Figure 3.7 : schéma représentant l'échange thermique au la niveau de l'isolant de face intérieure. [39]

L'équation de l'énergie au niveau de l'isolant ; face extérieure est donnée par :

$$M_{isoCiso} \frac{dT_{iso\ ext}}{dt} = Q_{cond\ tube\ -iso} - Q_{cond\ iso} - Q_{cond\ iso-a} \dots\dots\dots(3.37)$$

$$M_{isoCiso} \frac{dT_{iso\ ext}}{dt} = A_{iso\ -\ tube} h_{cond\ tube-iso} (T_t - T_{iso\ ext}) + h_{cond\ iso} A_{iso} (T_{iso\ int} - T_{iso\ ext}) - h_{conv\ iso-a} A_{iso} (T_{iso\ ext} - T_a) \dots\dots\dots(3.38)$$

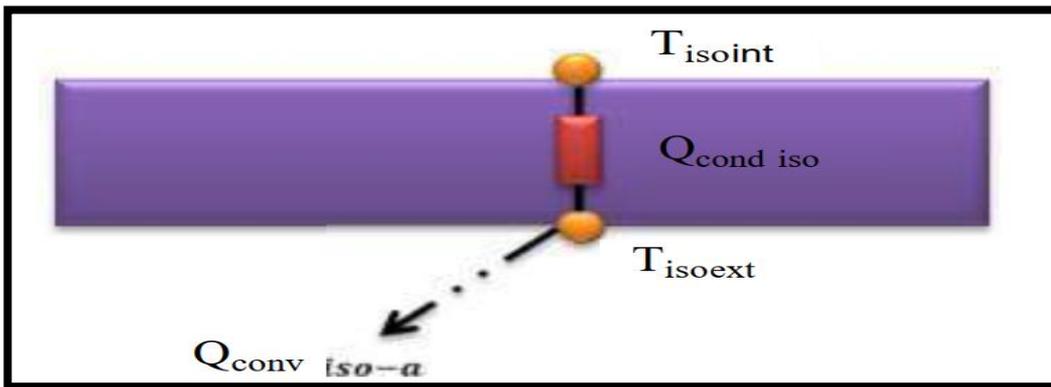


Figure 3.8 : schéma représentant l'échange thermique au la niveau de l'isolant de face extérieure. [39]

Le gain utile de la chaleur peut être calculé comme suit [38] :

$$Q_{util} = A_{capteur} FR [\tau \alpha^* G - U_{p-a} (T_e - T_a)] \dots\dots\dots(3.39)$$

Avec :

α^* , est le facteur d'absorptivité exprimé par:

$$\alpha^* = \alpha - \eta_{PV} \dots\dots\dots (3.40) [40]$$

3.3. Modèle électrique du capteur PVT

Les paramètres électriques de capteur PVT, se trouvent dans le modèle électrique de cellule photovoltaïque. La modélisation mathématique des cellules photovoltaïques est importante pour tout opération d'optimisation des performances ou de diagnostic des générateurs photovoltaïques. Là Les cellules photovoltaïques sont généralement représentées par des circuits équivalents.

L'utilisation d'un circuit équivalent est adaptée pour simuler les caractéristiques des cellules photovoltaïques. Il existe deux principaux modèles utilisés : le modèle à une seule diode et le modèle à double diode [42]

Les paramètres sont calculés en fonction des caractéristiques courant-tension en fonction l'ensoleillement et température. Ensuite, nous présenterons deux modèles électriques de cellules Photovoltaïque avec ses paramètres.

3.4. Modèle a une seule diode

3.4.1 Modèle a trois paramètres (L3P)

Pour décrire le fonctionnement d'un module photovoltaïque, on utilise le modèle à diode simple de Shockley correspondant à une seule cellule PV. [43]

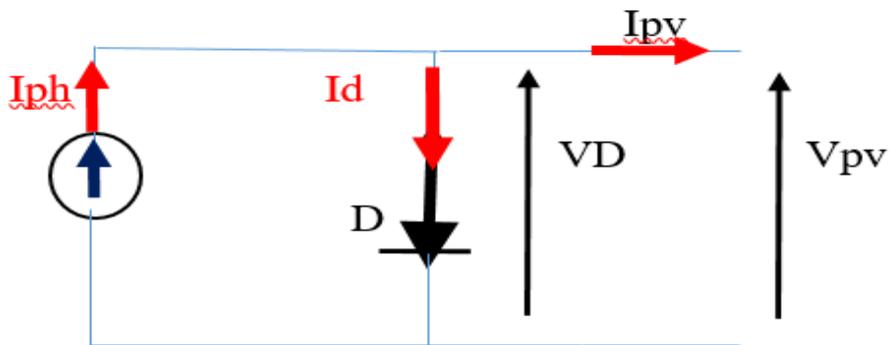


Figure 3.9 : Modèle idéal d'une cellule photovoltaïque (modèle à L3P).

Les trois paramètres sont :

I_{ph} : Le courant photonique.

I_{pv} : Le courant électrique produit par la cellule PV.

I_d : courant de diode.

La loi de Kirchhoff permet de déduire directement l'équation caractéristique [44]:

$$I_{pv} = I_{ph} - I_d \dots\dots\dots(3.41)$$

La diode étant un élément non linéaire, sa caractéristique I-V est donnée par la relation :

$$I_d = I_s \left[\exp\left(\frac{V_d}{nV_t}\right) - 1 \right] \dots\dots\dots(3.42)$$

Le courant débité équivaut à :

$$I_{pv} = I_{ph} - I_s \left[\exp\left(\frac{V_d}{nV_t}\right) - 1 \right]. \dots\dots\dots (3.43)$$

Avec :

V_d : La tension de la diode (V).

V_t : La tension thermique.

n : le facteur d'idéalité de la diode.

$$V_t = \frac{NKT}{q} \dots\dots\dots(3.44)$$

Avec :

Vt: Tension thermique [V].

N: Facteur d'idéalité de la photopile.

K: Constant de Boltzmann (1.38. J/K).

q: Charge de l'électron (1.6. C).

donc :

$$I_{pv} = I_{ph} - I_s \left(\exp \left(\frac{qV_d}{n.K.T} \right) - 1 \right) \dots\dots\dots(3.45)$$

3.4.2 Modèle a quatre paramètres (L4P).

Ce modèle à quatre paramètres connu sous le nom de L4P (Lumped, 1 Mechanism model with 4 Parameters), il été proposé par Townsend [45], ce modèle est représenté par une source de courant dépendant de la l'éclairement de la cellule de photovoltaïque, connectée en parallèle avec une diode et avec la résistance en série, le schéma équivalent de L4P présente de la figure 310.

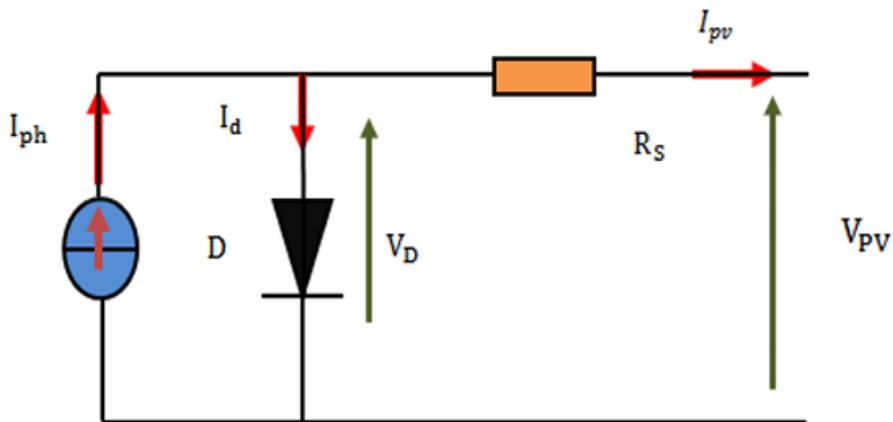


Figure 3.10 : Modèle à 4 paramètres (L4P).

Les quatre paramètres de ce modèle sont :

I_{ph} : le courant photonique.

I_s : courant de saturation.

R_s : la résistance séries.

n : facteur de qualité de la diode

Alors l'équation I(V) pour déférente point de fonctionnement donne :

$$I_{pv} = I_{ph} - I_s \left(\exp \left(\frac{q(V_d + R_s I_{pv})}{n.K.T} \right) - 1 \right) \dots\dots\dots(3.45)$$

3.4.3 Le modèle photovoltaïque à cinq paramètres

Un modèle de circuit équivalent simple d'une cellule solaire figure 3.11 se compose d'une diode en parallèle avec une source de courant idéale I_{ph} , d'une résistance série R_s , qui prend en compte les pertes ohmiques dans le matériau, la métallisation et le contact métal-semi-conducteur, et d'une résistance parallèle R_{sh} , qui prend en compte les courants de fuite entre le haut et le bas de la cellule, en particulier sur les bords, et à l'intérieur du matériau en raison d'inhomogénéités ou d'impuretés. [46],[47], la figure 3.11 représenté le schéma équivalent du modèle à une exponentielle L5P.

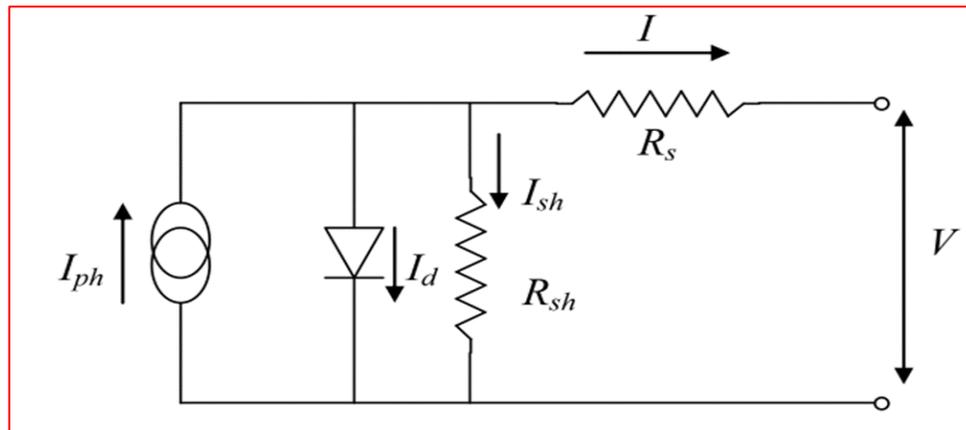


Figure 3.11 : Schéma équivalent du modèle à une exponentielle L5P

Les cinq paramètres de ce modèle sont :

R_s : la résistance série,

R_{sh} : la résistance parallèle.

I_{ph} : le courant photonique.

I_s : courant de saturation.

L'équation caractéristique est déduite d'une manière directe à partir de la loi de Kirchhoff :

$$I_{pv} = I_{ph} - I_d - I_{sh} \dots \dots \dots (3.46)$$

Donc :

$$I_{pv} = I_{ph} - I_s \left(\exp \left(\frac{q(V_d + R_s I_{pv})}{n.K.T} \right) - 1 \right) - \frac{V_d + R_s I_{pv}}{R_{sh}} \dots \dots \dots (3.47)$$

3.5. Modèle a deux diodes

3.5.1 Modèle a cinq paramètres (2M5P)

Ce modèle est également connu sous le nom de 2M5P (2Mechanism model with 5 Paramètres), ce modèle est obtenu en utilisant une simplification au circuit du modèle à six paramètres. Cette

simplification se traduit par supposer que la résistance shunt est infinie, et la résistance série est nulle. Le circuit équivalent sera représenté comme suit :

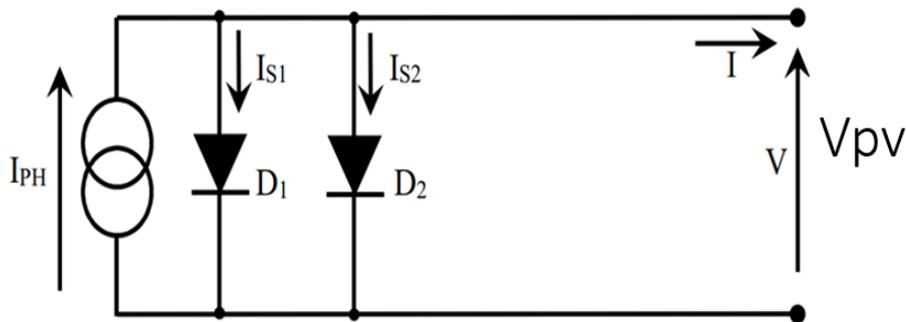


Figure 3.12 : schéma équivalent du modèle à cinq paramètres (2M5P).

Les paramètres de ce circuit sont :

I_{ph} : le photo-courant,

I_{s1} : courant inverse de saturation de la diode 1

I_{s2} : courant inverse de saturation de la diode 2

$n1$: le facteur de qualité de la diode 1

$n2$: le facteur de qualité de la diode 2

Le schéma présente un circuit équivalent (2M5P), il consiste à deux diodes $D1$ et $D2$ connecté en parallèle, les courants de saturation I_{s1} et I_{s2} , les facteurs de diode $n1$ et $n2$, et une source de courant produisant une photo courant I_{ph} dont la valeur dépend de l'illumination solaire et de la température de la cellule photovoltaïque. L'équation caractéristique est déduite d'une manière directe à partir de la loi de Kirchhoff [47] :

$$I_{pv} = I_{ph} - I_{d1} - I_{d2} \dots\dots\dots(3.48)$$

La relation courant-tension pour ce circuit aura la forme suivante :

$$I_{pv} = I_{ph} - I_{s1} \left(\exp\left(\frac{qVd}{n1.K.T}\right) - 1 \right) - I_{s2} \left(\exp\left(\frac{qVd}{n2.K.T}\right) - 1 \right) \dots\dots\dots(3.49)$$

3.5.2 Modèle à six paramètres (2M6P)

Ce modèle est également connu sous le nom de 2M6P (2Mechanism model with 6 Paramètres). Dans ce cas la résistance shunt est considérée infinie ($R_{SH} = \infty$), Cette simplification est raisonnable car la résistance shunt est généralement beaucoup plus grande que les autres résistances, de sorte que le courant qui la traverse est négligeable.

Il comprend également la description mathématique des circuits parallèles constitués de deux diodes. Le circuit de (2M6P) équivalent sera représenté dans la figure 3.13 comme suit :

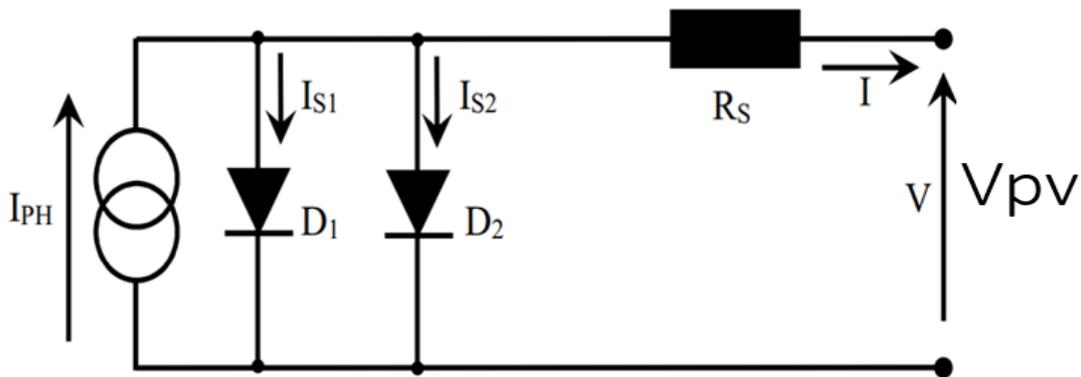


Figure 3.13 : Circuit équivalent du modèle à six paramètres (2M6P)

La loi de Kirchhoff permet de déduire directement l'équation caractéristique [44]:

$$I_{pv} = I_{ph} - I_{d1} - I_{d2} \dots\dots\dots (3.50)$$

Le courant électrique produit par la cellule est alors donné par l'expression suivante :

$$I_{pv} = I_{ph} - I_{s1} \left(\exp \left(\frac{q(V_d + R_s I_{pv})}{n_1 K T} \right) - 1 \right) - I_{s2} \left(\exp \left(\frac{q(V_d + R_s I_{pv})}{n_2 K T} \right) - 1 \right) \dots\dots\dots(3.51)$$

3.5.3 Modèle à sept paramètres (2M7P)

Ce modèle est également connu sous le nom de 2M7P (2Mechanism model with 7 Paramètres). La résistance série, R_s , prend en compte la résistivité du matériau, des électrodes et des contacts semi-conducteurs/métalliques. Idéalement, il devrait être le plus bas possible pour limiter son effet sur le courant de la batterie. Cela peut être réalisé en optimisant le contact semi-conducteur/métal et en réduisant la résistivité des matériaux utilisés. La résistance parallèle (shunt) R_{SH} représente le courant de fuite provoqué par le défaut. Cette valeur doit être aussi élevée que possible. Le modèle à double diode est représenté dans la figure 3.14 par des équations de courant implicites qui ne peuvent être résolues que par des techniques itératives.

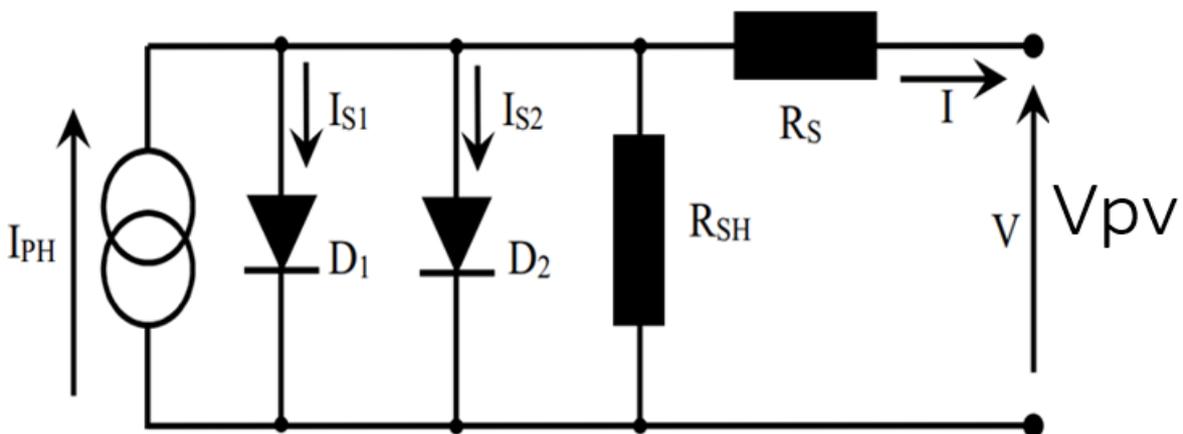


Figure 3.14: Circuit équivalent du modèle à sept paramètres (2M7P).

Les paramètres de ce circuit sont :

I_{ph} : le photo-courant,

I_{s1} : courant inverse de saturation de la diode 1,

I_{s2} : courant inverse de saturation de la diode 2 ;

$n1$: le facteur de qualité de la diode 1,

$n2$: le facteur de qualité de la diode 2,

R_s : la résistance série,

R_{sh} : la résistance parallèle.

Le courant électrique produit par la cellule est alors donné par l'expression suivante [14][16]:

$$I_{pv} = I_{ph} - I_{s1} \left(\exp \left(\frac{q(V_d + R_s I_{pv})}{n1.K.T} \right) - 1 \right) - I_{s2} \left(\exp \left(\frac{q(V_d + R_s I_{pv})}{n2.K.T} \right) - 1 \right) - \frac{V_d + R_s I_{pv}}{R_{sh}} \dots\dots\dots(3.52)$$

3.6 Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre la modélisation d'un système de cogénération à base de capteurs hybrides PVT, nous avons étudié un modèle de capteur de 9 nœuds, et présenté les équations thermiques pour les différentes couches de capteur PVT. Par la suite nous avons présenté le modèle électrique du capteur PVT avec mentionné les différents modèles des schémas équivalents des panneaux photovoltaïques (une seule diode et une double diode) et les paramètres caractérisant les cellules photovoltaïques de courant en fonction de la tension.

Chapitre 4

Simulation

du système PVT

et Application

Chapitre 4. Simulation du système PVT et Application

4.1. Introduction

La technologie d'un système hybride photovoltaïque thermique (PV/T) est une technologie de production combinée de chaleur et d'électricité soigneusement conçue qui intègre des modules photovoltaïques (PV) et des capteurs solaires thermiques dans une seule unité.

Le capteur solaire hybride PVT se compose de deux parties différentes, à savoir : le module solaire photovoltaïque et l'élément installé derrière celui-ci qui utilise un capteur plan. Le capteur hybride PVT peut générer simultanément de l'énergie électrique, qui peut être utilisée pour alimenter les appareils électriques existants dans la maison, et de l'énergie thermique, qui peut être utilisée pour chauffer la maison ou produire de l'eau sanitaire.

Dans ce chapitre nous allons réaliser une simulation (Matlab Simulink) pour le capteur hybride photovoltaïque thermique (PVT), avec les besoins énergétique et thermique pour une site isolé (base de vie projet TOUATGAZ).

4.2. Simulation partie I

4.2.1. Modèle Simulink du capteur PVT

4.2.1.1. Partie électrique (modèle électrique)

Le modèle électrique est souvent basé sur la caractéristique fonction $I(V)$ du panneau photovoltaïque, qui peut être modélisé par un modèle à une seule diode ou double diode, ce modèle permet de donner la caractéristique du panneau selon l'éclairement solaire et la température.

4.2.1.1.A Caractéristiques $I(V)$ et $P(V)$ du capteur solaire photovoltaïque

Nous analyserons les caractéristiques électriques du panneau silicium monocristallin référence 5150-008, le module se compose à 36 cellules monocristallines connectées entre elles en série pour produire une puissance de 100 W, la figure 4.1 représente la photo du panneau, et la figure 4.2 représente sa caractéristique.



Figure 4.1 : photo du panneau PV silicium monocristallin référence 5150-008

YHSUNPRO POWER	
Electrical Characteristics	Réf. :5150-008
Module Type	100M(36)
Maximum Power	100W(WP)
Tolerance	±3%
Voltage at Pmax (Vmp)	19.10V
Current at Pmax (Imp)	5.24A
Open-Circuit Voltage (Voc)	22.82V
Short-Circuit Current (Isc)	5.55A
Size: 950x580x30MM	
Weight: 8 KG	
Cells: 36Pcs,182 Monocrystalline silicon	
Max. System Operating Voltage: 1000(V)	
Maximum over-current protection rating: 10A	
Module Application: Class A	
Standard Test Condition: 1000W/m2,AM1.5,25°C	
	WARNING! ELECTRICAL HAZARD This unit produces electrical power when exposed to light Cover glass before opening terminal junction box .
	CE 
www.sunpropower.com	

Figure 4.2 : les caractéristiques du panneau PV silicium monocristallin référence 5150-008

A partir des caractéristiques à qui motionné dans la plaque signalétique du panneau, nous avons créé un programme (commande) MATLAB pour modéliser le panneau silicium monocristallin référence 5150-008.

Dans le condition STC ($G=1000 \text{ W/m}^2$ et $T=25 \text{ °C}$), les caractéristiques $I(V)$ et $P(V)$ par un panneau photovoltaïque donne come indique dans la **figure 4.3** et **figure 4.4** :

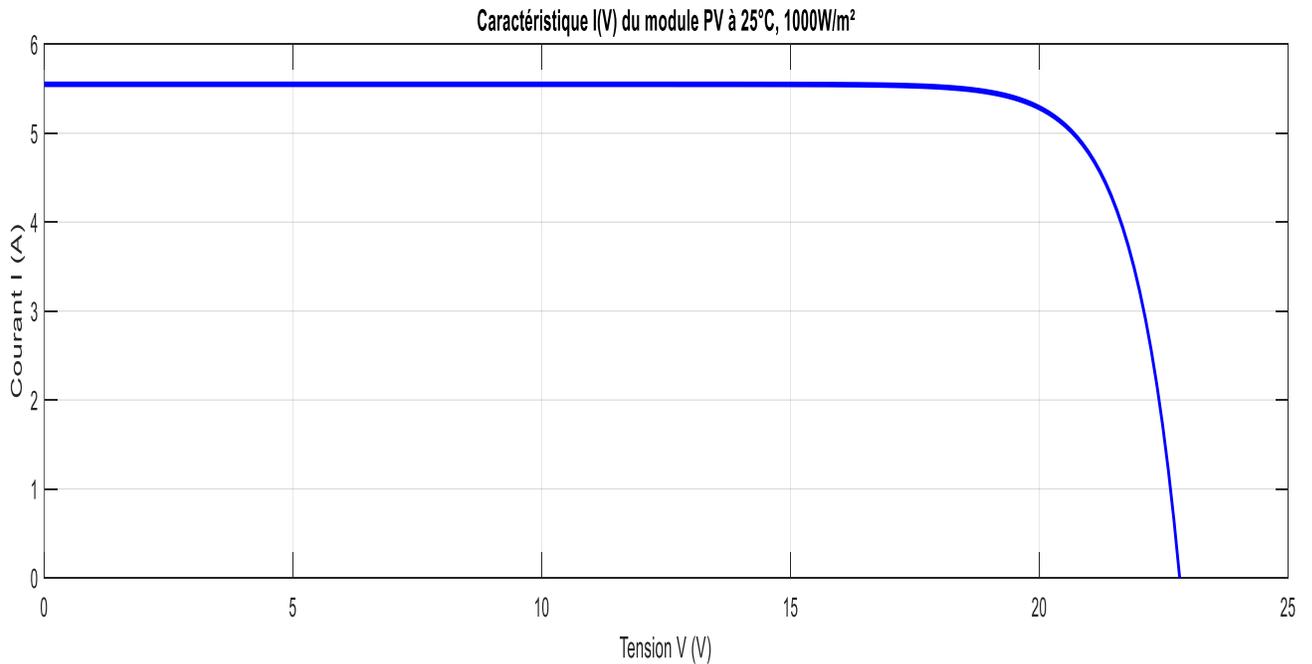


Figure 4.3 : Caractéristique $I(V)$ d'un panneau PV

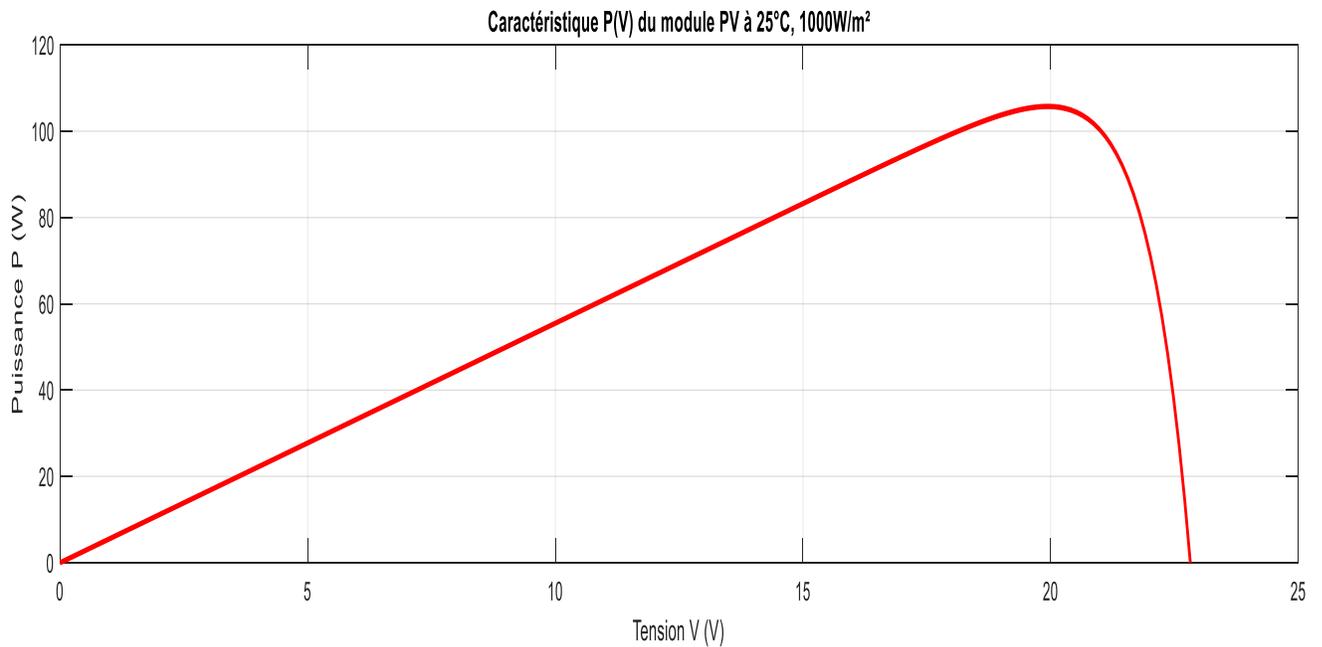


Figure 4.4 : Caractéristique $P(V)$ d'un panneau PV

Dans la figure 4.3 la caractéristique de $I(V)$, la courbe représente la variation de courant en fonction tension entre les bornes de cellule photovoltaïque, au début depuis le courant reste pratiquement constant et élevé depuis court-circuite (tension nulle correspondant au courant maximum produit), ce qui est typique du comportement d'une cellule PV en fonctionnement normale. Et la tension augmente, le courant reste stable jusqu'à atteindre un certain point de coude après quoi le courant chute brutalement à zéro ce point correspond à la tension à vide du module (courant nul pour une tension maximale aux bornes de la cellule circuit over V_{oc}).

Dans la figure 4.4 représente la caractéristique de puissance en fonction tension $P(V)$,

4.2.1.1.B Influence de l'éclairement solaire

L'énergie électrique produite par une cellule photovoltaïque dépend de l'éclairement qu'elle reçoit sur sa surface. La figure 4.5 représenté la caractéristique courant-tension d'une cellule photovoltaïque à une température constante (25°C), et déférent d'éclairement.

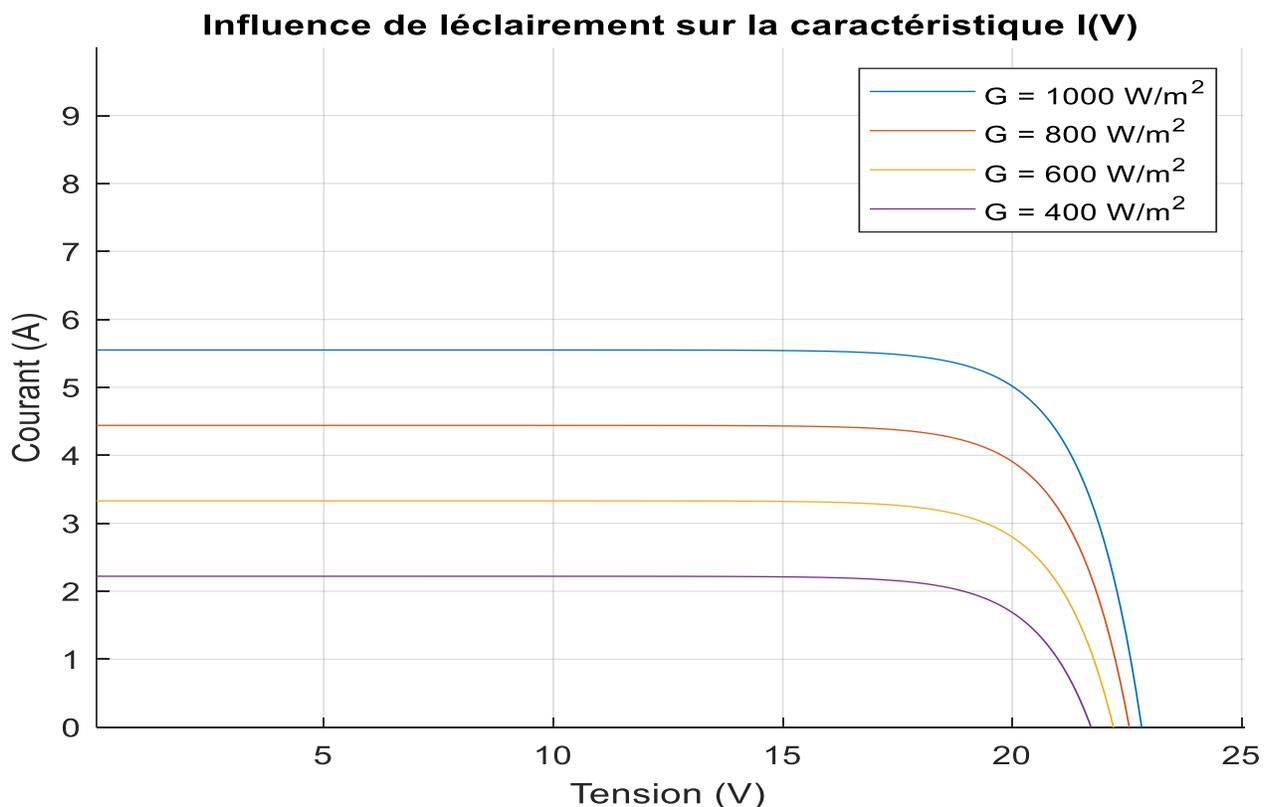


Figure 4.5 Caractéristique $I(V)$ d'un module pour différentes valeurs de l'éclairement

La figure 4.6 représenté la caractéristique puissance-tension d'une cellule photovoltaïque à une température constante (25°C), on remarque que l'augmentation du courant de court-circuit est directement proportionnelle à l'éclairement solaire et est contraire à la tension, ce qui démontre que l'intensité du rayonnement affecte le courant.

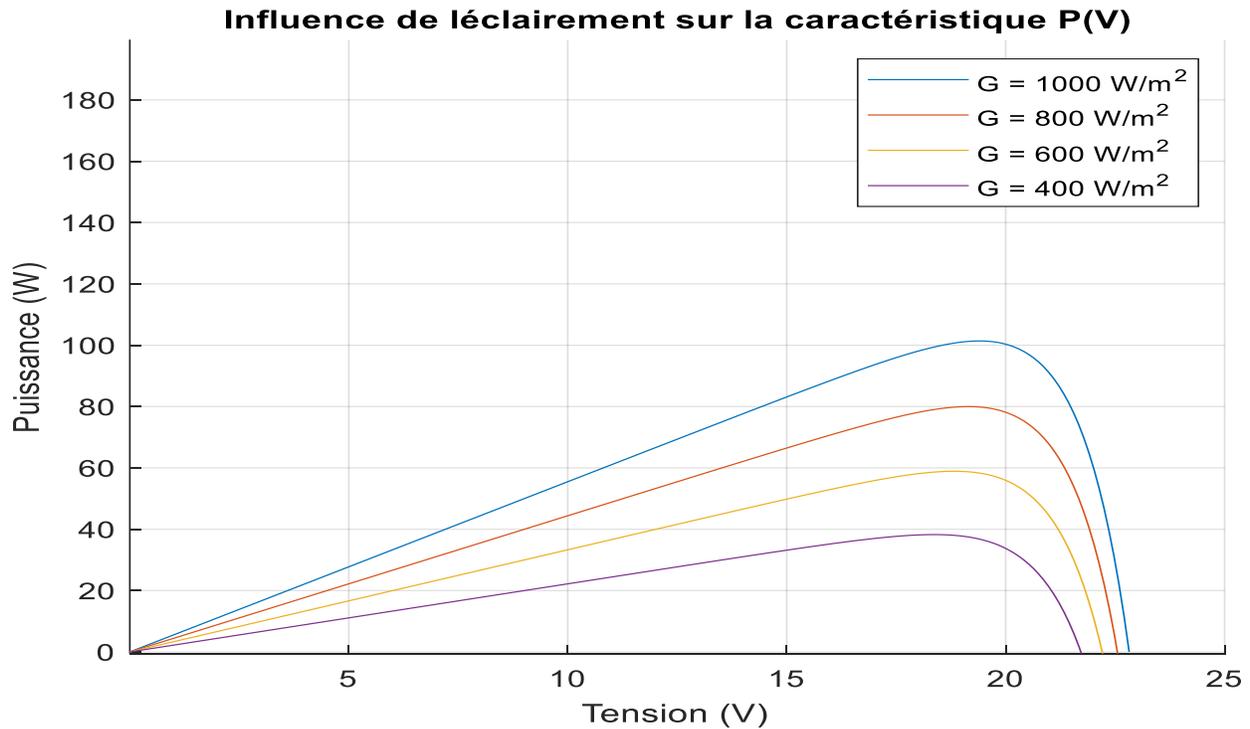


Figure 4.6 Caractéristique P(V) d'un module pour différentes valeurs de l'éclairement

4.2.1.1.C Influence de la température

Dans le système d'énergie solaire photovoltaïque la température est un paramètre très important puisque les modules sont exposés au rayonnement solaire. Les courbes suivantes représentent l'évolution du courant et de la tension en fonction de la température de la cellule PV durant le même éclairement.

La figure 4.7 représenté la caractéristique I(V) en déférent valeur de température.

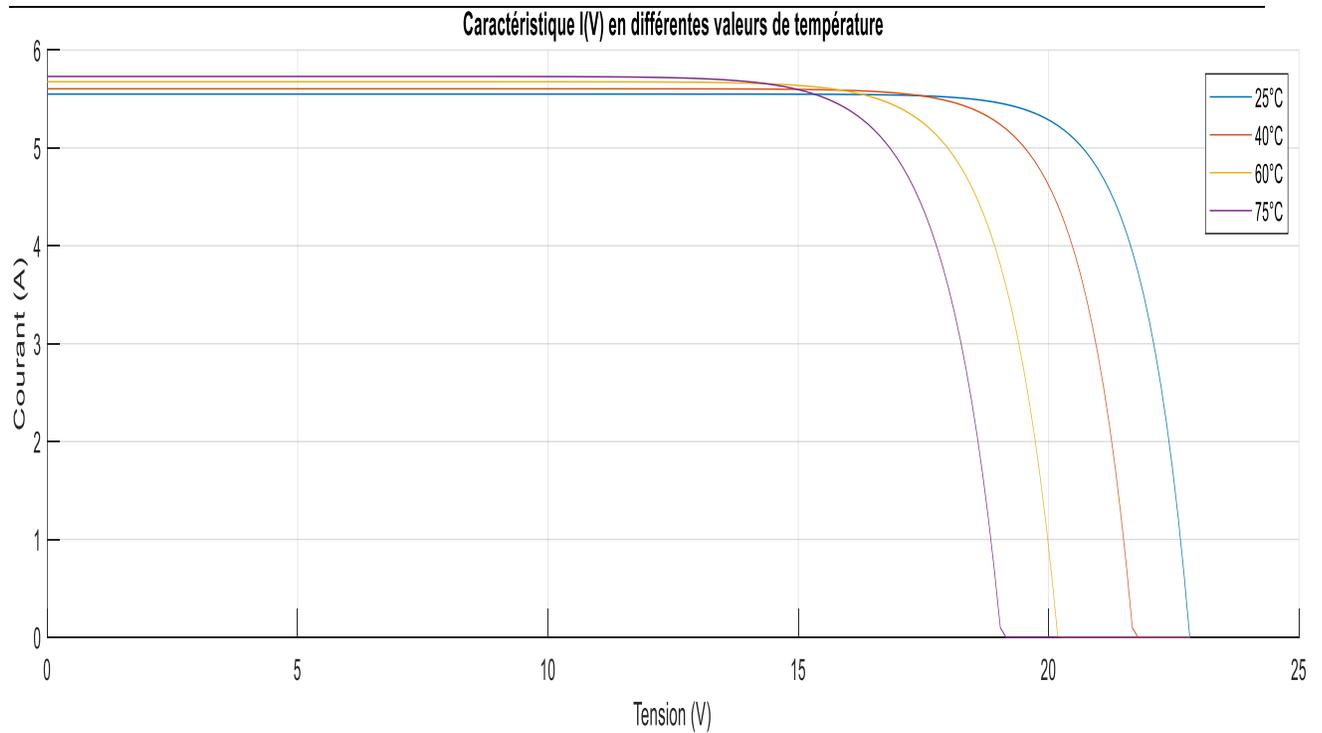


Figure 4.7 Caractéristique I(V) d'un panneau PV pour différentes valeurs de température

La figure 4.7 représenté la caractéristique P(V) en déférent valeur de température.

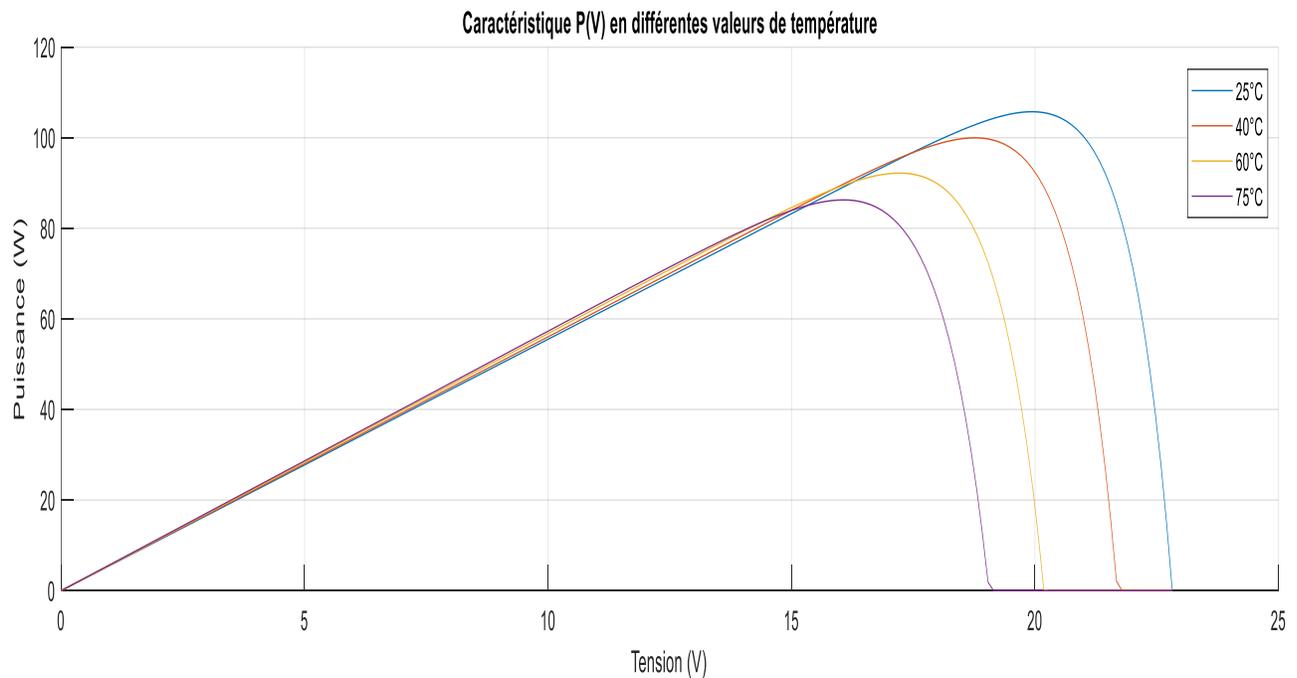


Figure 4.8 Caractéristique P(V) d'un panneau PV pour différentes valeurs de température

On remarque que l'augmentation de la température à la surface du panneau solaire photovoltaïque provoque une diminution de la tension et une augmentation du courant. c'est à dire plus la température augmente et moins le module est performant.

La puissance électrique produite par les panneaux solaires photovoltaïques dépend en grande partie de l'éclairement et dans une moindre mesure de la température des cellules. Ces deux variables affectent le comportement du système et représentent les fluctuations quotidiennes saisonnier . Pour ces raisons, un panneau photovoltaïque ne peut délivrer une puissance maximale que pour une certaine tension et un certain courant bien définis.

4.2.2 Partie énergétique

Le Shéma simulink de capteur PVT est montré sur la figure 4.9, la simulation concernera le fonctionnement énergétique du capteur PVT. Les caractéristiques électriques sont les mêmes que celles étudiés auparavant.

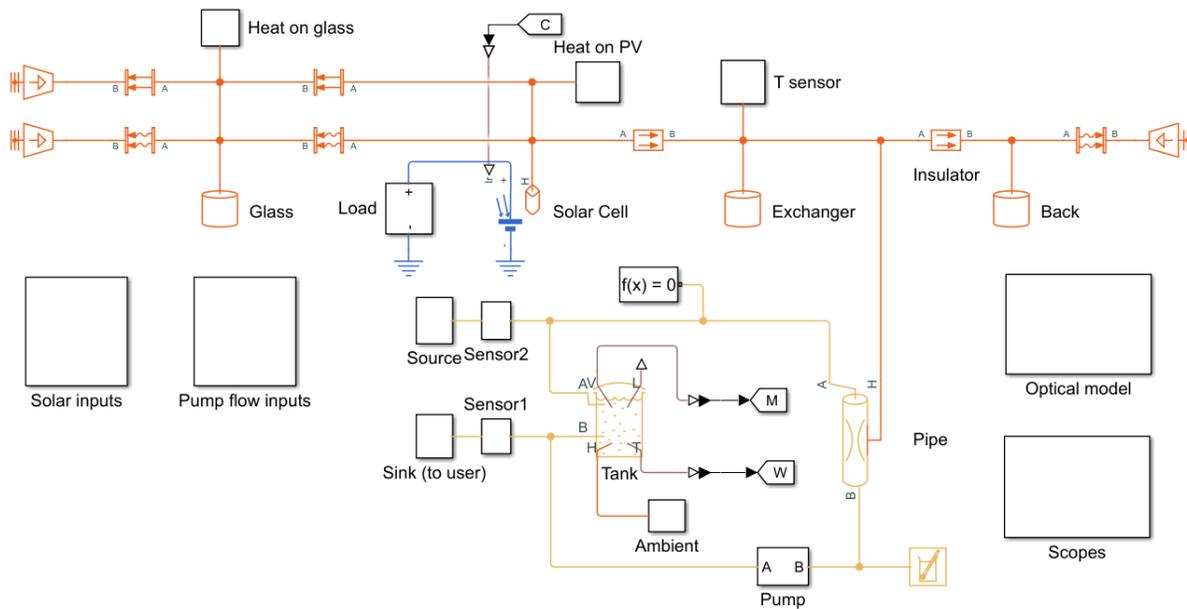


Figure 4.9 : Modèle de capteur photovoltaïque thermique PVT sous Matlab Simulink.

La figure 4.10 représente L'éclairement solaire en (W/m^2) en fonction de temps (S) , on remarquons l'éclairement élève rapidement de débit de jour pendant le temps de lever de soleil à $1000 W/m^2$ verse à midi, après chut progressivement jusquant le temps de coucher de soleil, et

chut à zéro durant la période de nuit, ce qui cohérent avec l'absence l'éclairment de soleil, et le mémé cas des jours suivants.

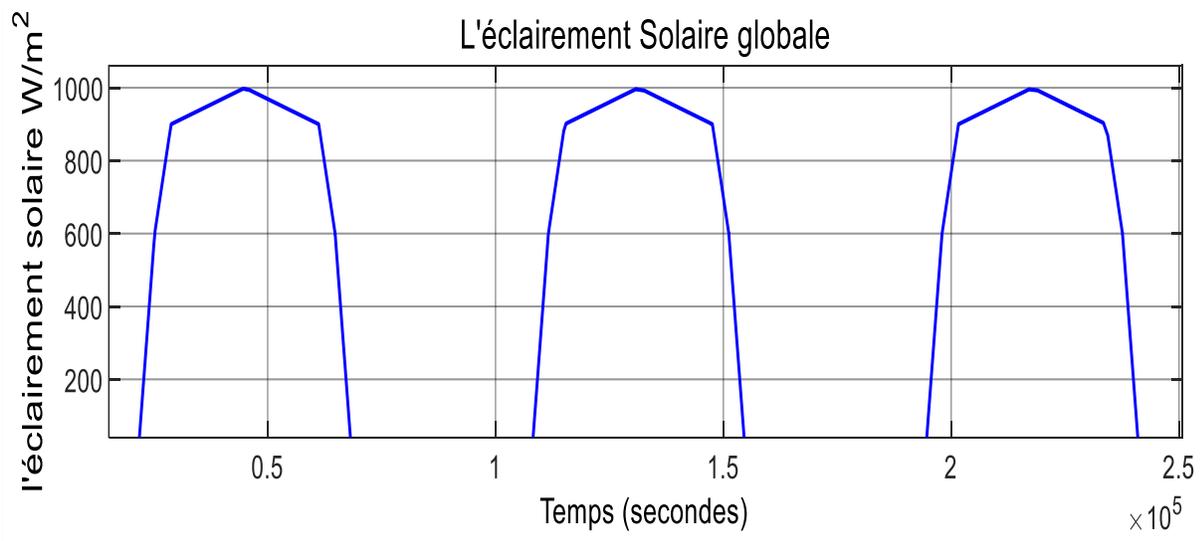


Figure 4.10 : L'éclairage solaire globale

La figure 4.11 représente la puissance électrique sortie en (W) en fonction de temps (S), on observe que la puissance élevé rapidement juste débit de lever de soleil pendant le jour, et tomber à zéro pendant la nuit le temps d'absence de la lumière de soleil.

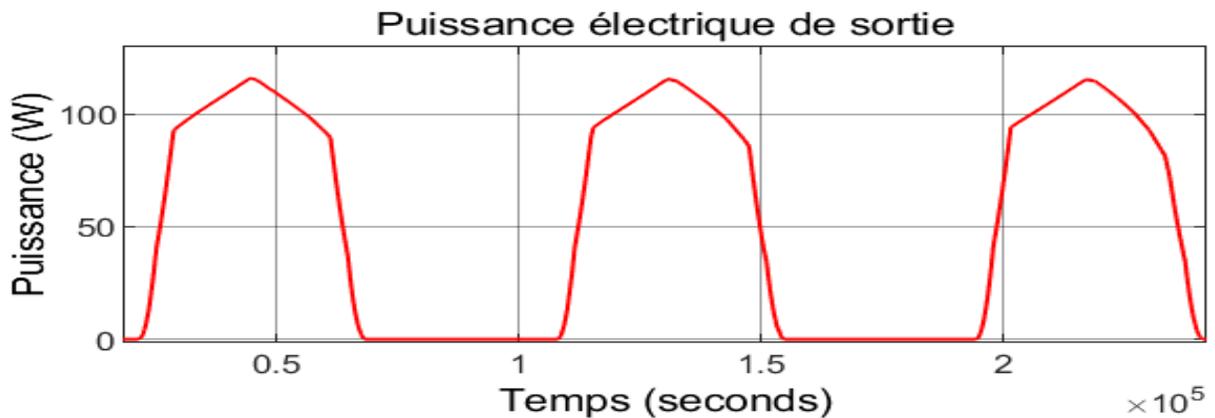


Figure 4.11 : Puissance électrique de sortie

La figure 4.12 représente la puissance thermique à produire par un capteur PVT, en fonction de temps (nuit/jour), il y a une augmentation progressive pendant le jour, et une chute rapidement le nuit, le cycle se répète régulièrement une alternance nette entre la période de présence l'éclairment, et l'absence lumière solaire.

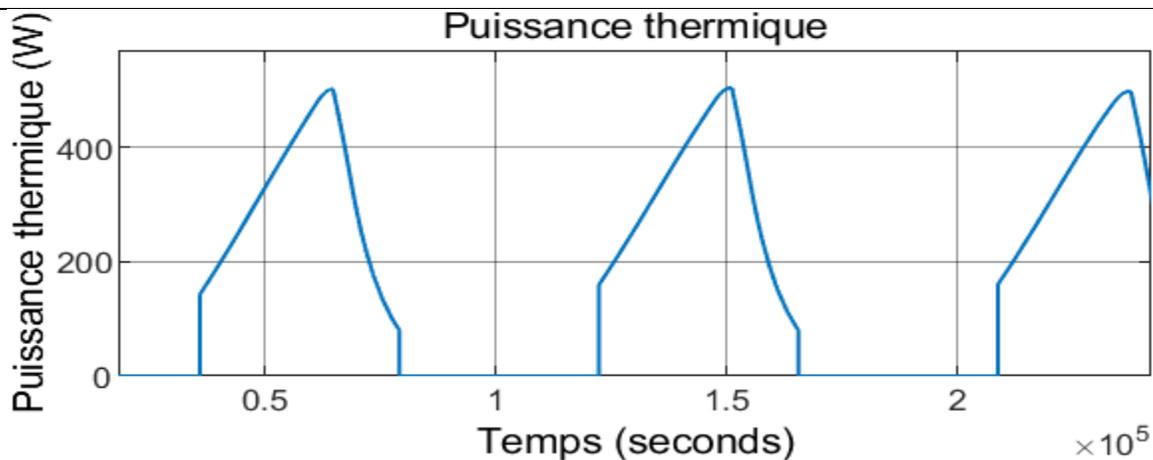


Figure 4.12 : Puissance thermique

4.3. Simulation partie II

Simulation effectuée sur l'exemple d'application avec Matlab Simulink

Dans cette simulation, nous choisirons un bloc des chambres dans un site de base de vie de TOUAT GAZ à Adrar (chaque bloc container à trois chambres), pour notre étude. La figure 4.13 est une photo 3D pour le champ choisi, la localisation astronomique d'ADRAR c'est $27^{\circ} 52' 00''$ nord, $0^{\circ} 17' 00''$ ouest.



Figure 4.13 : Photo 3D de base de vie

La base de vie est située dans un environnement avec un climat désertique aride, caractérisé par des températures extrêmes et un faible taux d'humidité en été. Pendant l'hiver, les variations de

température entre le jour et la nuit sont importantes, et la pluviométrie est très basse. Ce type de climat rend toute forme d'habitat précaire en l'absence de mesures de protection contre la chaleur, l'exposition au soleil et le froid. De plus, la végétation naturelle est limitée dans un climat désertique aride, ne permettant pas une diversité luxuriante.

4.4. Dimensionnement d'un système photovoltaïque thermique (PV/T)

Pour dimensionner un système photovoltaïque thermique (PV/T) pour un bloc des chambres VIP (chaque bloc container 03 chambres comme suite), nous devons prendre en compte les besoins énergétiques spécifiques en électricité et en chauffage de l'eau.

4.4.1 Besoins énergétiques d'électricité

Le tableau ci-dessous (Tableau 4.1) présente le profil de consommation d'électricité :

Tableau 4.1 : Besoin électrique par une chambre

Type	Puissance (W)	Durée de fonctionnement (H)	Total (KWh)
Lampe 1	20 W	5	100 Wh = 0.1 KWh
Lampe 2	15 W	3	45Wh = 0.045 KWh
Lampe de sanitaire	15 W	4	60 = 0.06 KWh
Ventilateur de sanitaire	10 W	2	20 = 0.02 KWh
Micro (PC)	70 W	1	70 = 0.07 KWh
Réfrigérateur	20.8	20	0.416 KWh
TV	20 W	5	100 = 0.1 KWh
Machine à café	1260 W	1	1260 = 1.26 KWh
Micro-onde	800 W	1	800 = 0.8 KWh
TOTAL : 2.46 KWh			

Donc : la consommation énergétique électrique par un chambre VIP c'est 2.46 KWh, et à chaque bloc container à trois (03) chambres donc $2.46 \times 3 = 7.36$ KWh.

4.4.2 Besoins énergétiques thermique (Estimation des besoins en chauffage de l'eau)

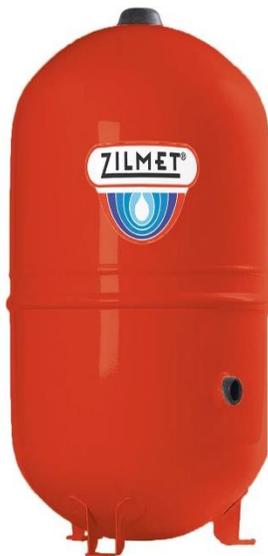
Pour calculer la quantité d'énergie journalière L en (KWh) nécessaire à la production d'eau chaude sanitaire, il faut d'abord connaître le volume d'eau chaude à produire. La quantité réelle d'énergie nécessaire pour produire l'eau chaude sanitaire est calculé comme étant la quantité d'énergie nécessaire pour chauffer ce volume d'eau de la température de l'eau froide jusqu'à la température demandée.

Dans notre étude chaque personne a besoin à 50 litres par jour d'eau chaude pour utilisation sanitaire, c'est-à-dire chaque bloc a besoin de 150 litres d'eau chaude par jour.

Nous supposons que la température de l'eau avant chauffage est de 20°C et après chauffage est de 40°C.

4.4.3 Ballon de stockage

Le ballon montré sur la figure 4.14 représente ballon de stockage 150 L, et ses spécifications



Plus d'information

Pression de service maximale	10
Matière corps	Acier
Prégonflage (bar)	2.5
Hauteur totale (mm)	1460
Plage de température (°C)	-10°C à 100°C
Utilisation	Solaire
Raccordement du vase	1" M
Type de vase	A membrane

Figure 4.14 : Ballon de stockage d'eau sanitaire et ses spécifications

Pour calculer la quantité d'énergie journalière L en (KWh) nécessaire à la production d'eau chaude sanitaire pour le volume 150 litres d'eau de 20°C à 40°C, nous pouvons utiliser la formule d'énergie suivante :

$$L = C_p \cdot \rho \cdot V \cdot \Delta T \dots\dots\dots 4.1$$

$$\Delta T = (T_w - T_m) \dots\dots\dots 4.2$$

Où :

L : Quantité d'énergie thermique journalier en (KWh)

ρ : La masse volumique d'eau en kilogrammes/litre (1 kg/L)

C_p : La capacité calorifique de l'eau égale (1.16 Wh/kg°C ou 4,18 J/g°C = 4180 J/kg°C)

T_w : Température d'eau chaude demandée (°C).

T_m : Température d'eau froide (°C).

Donc : $L = 1.16 \times 1 \times 150 \times (40 - 20) = 3.48 \text{ KWh}$

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T \dots\dots\dots 4.3$$

Où

Q : l'énergie thermique en joules (J)

m : la masse de l'eau en kilogrammes (kg)

c : la capacité thermique spécifique de l'eau (4,18 J/g°C ou 4180 J/kg°C)

ΔT : la différence de température (°C)

$$Q = 4180 \times 150 \times 20 = 12540000 \text{ J}$$

$$1 \text{ KWh} = 3600000 \text{ J}$$

$$\text{Donc : } Q = \frac{12540000}{3600000} = 3.48 \text{ KWh}$$

Besoins énergétique thermique de chauffage d'eau c'est 3.48 KWh

L'énergie total entre deux besoins énergétique électricité et thermique c'est : 10.84 KWh.

4.5 Choix le panneau solaire photovoltaïque (PVT)

Afin de réaliser le générateur PVT à base des cellules solaires précédentes (modules étudiés au début de ce chapitre) pour satisfaire les besoins électriques et thermiques de notre habitation, nous avons utilisé un autre type de capteurs PVT de puissance plus grande. Ceci pour faciliter la pose et pour assurer que la surface (terrasse) du site d'implantation est compatible. Le capteur PVT choisi a une puissance de 450W. Il est composé de huit couches verre trempé, cellules solaires, EVA, panneau d'étanchéité, tuyau conducteur de chaleur, plaque d'échange de chaleur, isolation et cadre en alliage.

Les tableaux 4.2 et 4.3 représentent les caractéristiques de panneau PV/T choisi :

Tableau 4.2 : Les caractéristiques mécaniques d'un panneau PVT

Type de cellule	166*83 Mono
Nombre de cellules	144(6*12)*2
Dimensions	2094*1038mm
Poids	37,5 kg
Verre avant	Transmission élevée de 3,2 mm, faible teneur en fer, verre trempé
Cadre	Alliage d'aluminium anodisé
Boîte de dérivation	Diodes IP68 3
Câbles de sortie	Câble 4mm ² 30cm plus mc4
Charge de vent max./charge de neige	2400Pa/5400Pa

Tableau 4.3 : Les caractéristiques électriques et thermiques d'un panneau PVT

STC : Irradiance 1000 W/m², AM 1,5, température de cellule Gand de 25 degrés

Type de module	M16Ensun
Génération de chaleur(W)	1200
Puissance de crête(Pmax)	450.00
Tension d'alimentation maximale (Vmp)	41.50
Courant de puissance maximale (Imp)	10.85
Tension en circuit ouvert (voc)	49.30
Tension de court-circuit (Isc)	11.60
Efficacité des cellules (pourcentage)	23.36
Efficacité du module (pourcentage)	20.70
STC : irradiance 800 W/m ² , AM 1,5 G, température ambiante 20 degrés, vitesse du vent 1 m/s.	
Puissance de crête(Pmax)	336.00
Tension d'alimentation maximale (Vmp)	38.60
Courant de puissance maximale (Imp)	8.70
Tension en circuit ouvert (cov)	46.20
Tension de court-circuit (Isc)	9.38
Entrée et sortie	DN 15
Pression de l'eau	0.8mpa
L'écoulement de l'eau	0.4L/S

Caractéristiques de température

NOCT Température de fonctionnement nominale de la cellule (degré)	45±2
Coefficients de température P max(W/degré)	-0.350 %
Coefficients de température de COV (V/degré)	-0.270 %

Coefficients de température Isc (A/degré)	plus 0.048 %
---	--------------

Conditions de fonctionnement PVT

Tension maximale du système (V)	1500
Classement maximal du fusible série (A)	20
Tolérance de puissance	0 ~ plus 3 %
Température de fonctionnement et de stockage (degré)	-40 ~ plus 85

4.5.1 Détermination de la puissance crête d'un système PVT

La puissance crête Pc d'un système PV/T est déterminée par la formule suivante :

$$Pc = \frac{Ec \cdot Pi}{Gi \cdot Pr} \dots\dots\dots 4.4$$

Avec ;

Ec : Energie consommée en (KWh)

Pr : Ratio de performance ou rendement du système PV (Ce facteur prend en typiquement autour de 70 à 85 %).

Pi : Irradiation solaire sous conditions STC (1 KWc/ m²)

Gi : Irradiation solaire journalière moyenne en KWh/m²/jour

$$Pc = \frac{7.36 \times 1}{6 \times 0.75} = 1.63 \text{ KWc}$$

Gi : Irradiation solaire journalière moyenne 6 KWh/m²/jour à Adrar

4.5.2 Détermination le nombre total de capteur PVT Np

Le choix de la tension nominale du système dépend de la tension de circuit ouvert du capteur PVT utilisé. Pour notre cas, on va utiliser une tension de 24 V

Pour déterminer le nombre total de capteur PVT (Np), la formule donne comme suit :

$$Np = \frac{Pc}{P_{mod}} \dots\dots\dots 4.5$$

Avec :

P_c : la puissance crête du système en (KWe)

P_{mod} : puissance de module PV.

Donc : $N_p = \frac{1.63}{0.45} = 3.63 \approx 4$ capteur PVT.

La tension de fonctionnement du système étant 24V, ce qui nous impose un branchement en parallèle des 4 capteurs PVT.

4.5.3 Choix des batteries

On considère un onduleur MPPT 250 V/85 A, la tension de batteries 24 V d'après la puissance nominale d'onduleur 2400 W.

Pour calculer la capacité des batteries on utilise la formule :

$$C = \frac{E_c \times N_j}{\alpha \times U} \dots \dots \dots 4.7$$

Avec :

E_c : énergie consommé journalière en KWh

N_j : nombre de jour

α : profondeur de décharge (0.80)

U : tension de batterie

$$C = \frac{7.36 \times 1000 \times 2\text{jour}}{0.80 \times 24} = 766.66 = 800Ah$$

Supposant on a des batteries d'une capacité 12V/200Ah donc :

$$N_{batt} = \frac{800}{200} = 4 \text{ batteries}$$

La connexions les batteries en séries pour augmenter le courant, et la connexion en parallèle pour augmente la tension donc : deux (02) batteries en série et deux en parallèle.

4.5.4 Choix de régulateur

On suppose que régulateur utilisé de marque victron energy MPPT 250V/85A, les caractéristiques sont présentées au tableau 4.15



Figure 4.15 : régulateur victron energy MPPT 250 V/85A

Tension de batterie	12/24/48 V Auto Select (36 V: manual)
Courant de charge nominal	85 A
Puissance PV nominale, 12 V 1a,b)	1200 W
Puissance PV nominale, 24 V 1a,b)	2400 W
Puissance PV nominale, 48 V 1a,b)	4900 W
Courant de court-circuit PV max. 2)	70 A (max 30 A per MC4 conn.)
Tension maximale en circuit ouvert du système PV	250 V maximum absolu dans les conditions les plus froides 245 V maximum au démarrage et en fonctionnement

Tableau 4.4 : les caractéristique régulateur victron energy MPPT 250V/85A

4.5.4 Choix d'onduleur



Figure 4.16 : Phoenix Inverter 24/5000 230V VE.Bus Victron (24V / 5000VA)

Tableau 4.5 : les caractéristique d'onduleur

Convertisseur Phoenix	C24 / 5000
Fonctionnement en parallèle et triphasé	Oui
Plage de tension d'entrée	19 - 33 VCC
1 sortie	Tension de sortie : 230 VAC +/-2% Fréquence : 50 Hz +/- 0,1% (1)
Puissance de sortie du convertisseur à 25°C (2)	5000 VA
Puissance du convertisseur à 25°C / 40°C	4500 / 4000 W
Puissance de pointe	10000 W
Efficacité maxi 12 / 24 / 48 V	94 %

4.6 Simulation d'un schéma d'un modèle électrique

La figure 4.16 représente un schéma électrique pour un 'installation du système PV hybride, destinée à une habitation en électricité.

Le système se compose à un 04 panneaux PV raccordé en parallèle, et un régulateur MPPT, pour charger les batteries avec les besoins électriques de charge DC, et un onduleur pour convertir le courant DC à courant AC pour alimenter les besoins électriques dans l'habitation.

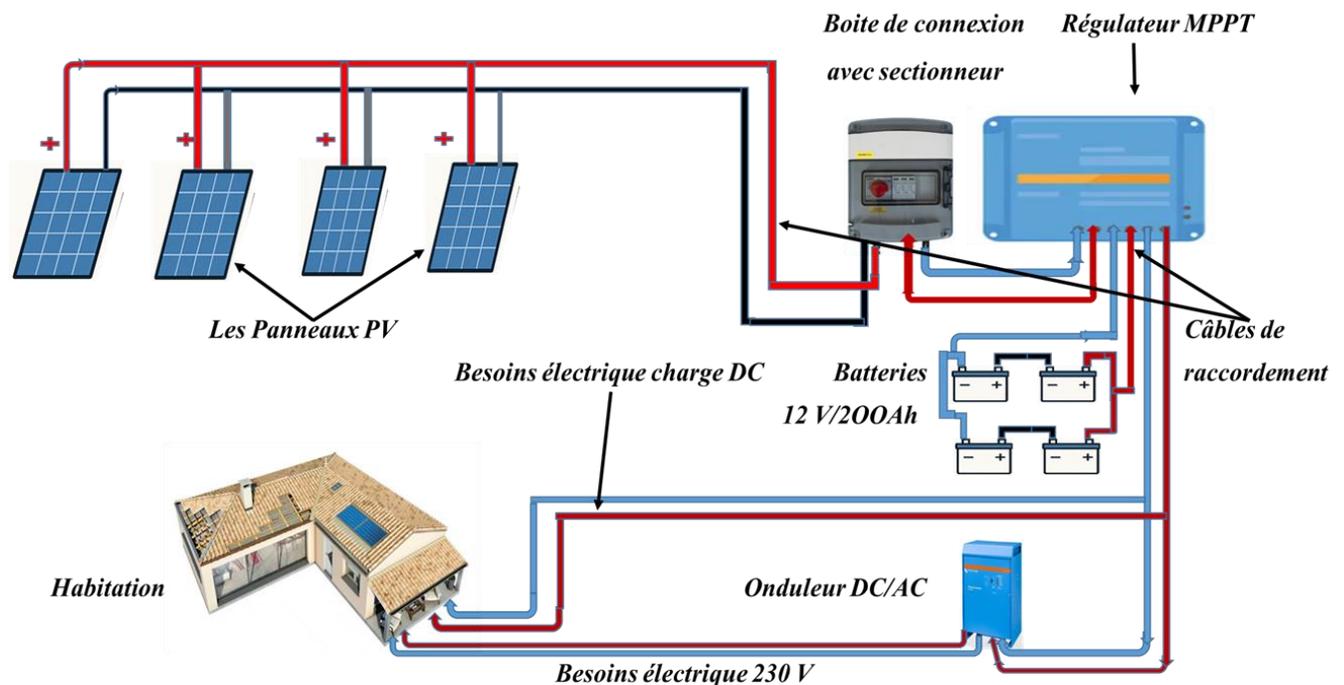


Figure 4.17 : schéma électrique pour système PV

4.7 Simulation d'un schéma électrique d'un capteur PVT

Dans cette partie nous pouvons de présenter d'un schéma électrique et thermique pour un capteur PVT.

La figure 4.17 représente d'un capteurs solaire PVT hybride PVT, intégré à une habitation. Le système d'un capteur PVT combine la production d'électricité et d'eau chaude sanitaire pour l'habitation. Ces capteurs sont montés sur le surface de toit de l'habitation, et permettent d'obtenir l'énergie électrique et thermique à partir de système de cogénération d'énergie renouvelable.

Produisent de l'électricité à partir du rayonnement solaire (photovoltaïque), et récupèrent la chaleur générée pour chauffer d'eau pour sanitaires ou chauffer la sole.

L'eau froide entre dans le système depuis l'entrée d'eau froide, et circule dans les capteurs PVT à partir un tube de cuivre ou aluminium, l'eau chaude est ensuite dirigée vers un ballon de stockage par gravité ou pompe de circulation, via un échangeur thermique.

L'électricité à produire par les panneaux PV est envoyée vers un régulateur MPPT (Maximum Power Point Tracking), qui optimise la production électrique, et chargé des batteries (12 V/200 Ah) pour assurer l'alimentation électrique pendant la nuit, ou absence l'éclairage à cause la météo. Le courant continu (DC) est converti en courant alternatif (AC) par un onduleur DC/AC, pour alimenter les besoins électriques de l'habitation.

La boîte de connexion se compose à bornes de raccordement avec un sectionneur qui permet d'isoler le système pour des raisons de maintenance, et un relais de parafoudre.

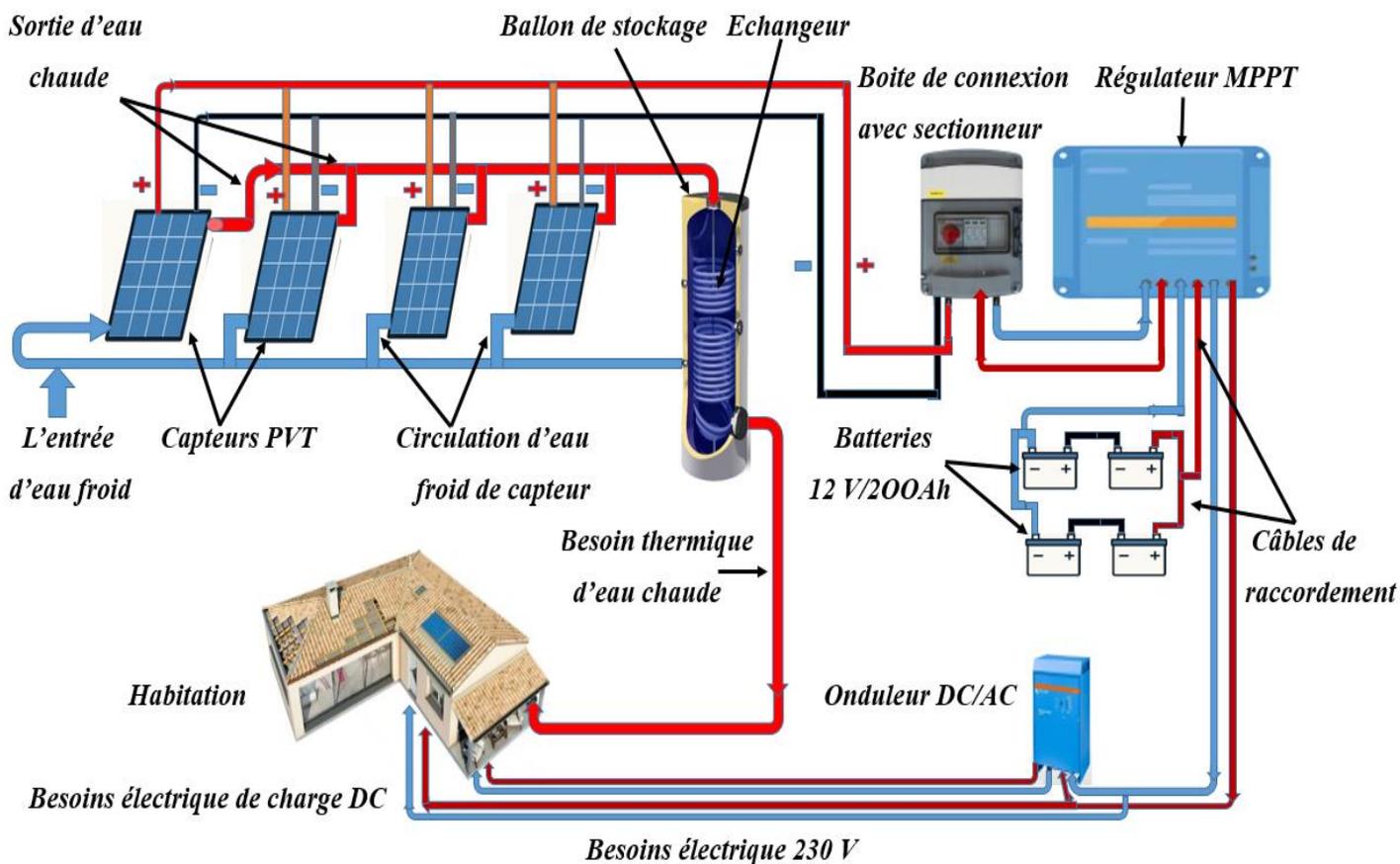


Figure 4.18 : schéma d'un système des capteurs PVT intégré dans l'habita

4.8 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté dans la première partie de simulation d'un modèle électrique d'un panneau PV, et présenté les caractéristiques de $I(V)$ et $P(V)$ avec ses courbes, en plus l'influence de différent température et l'éclairement sur la puissance et le rendement d'une panneau PV. Après nous avons présenté la partie énergétique par un Simulink Matlab pour simuler d'un capteur PVT, et obtenir les courbes des caractéristiques de puissance d'électricité et puissance thermique de sortie d'un capteur PVT en fonction de temps entre la nuit et jour.

Après nous avons choisi un bloc de base de vie isolé à ADRAR comme application et calculé les besoins thermique et besoins électrique, et choisi les choix des équipements d'installation (capteur PVT, Batteries, régulateur, onduleur) selon les caractéristique de calcule et les besoins, plus de ça nous avons présenté un simulation d'un schéma électrique pour le système solaire hybride d'un panneau PV, schéma global des besoins électrique et énergétique d'un capteur hybride PVT intégré dans l'habitation.

Les résultats de simulation Matlab montrent que le système PVT présente de meilleures performance globale qu'un panneau PV seul, tant sur le plan électrique que thermique, le refroidissement des cellules par le fluide caloporteur permet de maintenir une température de fonctionnement plus basse, ce qui améliore le rendement électrique tout en générant une puissance thermique utile.

Conclusion
générale

Conclusion générale

Dans le cadre de ce mémoire, on s'est principalement intéressé à une étude et conception d'un système hybride PVT intégré dans l'habitat. Dans un premier lieu nous avons mis en avant dans la partie théorique, nous avons présenté trois chapitres sur la cogénération, et l'état de l'art de PVT, ensuite nous avons la modélisation de capteur PVT.

En dans le partie pratique nous avons simulé sous Matlab/Simulink la caractéristique (courante-tension) et (puissance-tension) d'un module PV, et présenté l'influence de différent l'éclairement et température sur le rendement de panneaux PV. Ensuite nous avons présenté notre travail sur l'étude et dimensionnement un système hybride intégré dans l'habitat.

Adrar bénéficie d'un ensoleillement favorable, ce qui optimise les performances globales du système PVT, tant en termes de production d'électricité que de chaleur. Les températures plus élevées dans l'échangeur de chaleur et le ballon d'eau confirment cette amélioration. Cependant, en été, les besoins en chauffage sont réduits grâce aux températures naturellement élevées. En été, les températures ambiantes élevées réduisent la demande de chauffage de l'eau, mais la production d'électricité reste optimisée grâce à l'abondance du soleil.

Le système PVT exploite de manière optimale le rayonnement solaire en produisant à la fois de l'électricité et de la chaleur, ce qui permet d'atteindre des rendements globaux supérieurs à ceux des systèmes photovoltaïques ou thermiques classiques installés séparément.

L'intégration d'un système PVT dans l'habitat permet de réduire la température des cellules photovoltaïques grâce à l'extraction de la chaleur, ce qui améliore leur rendement électrique tout en valorisant la chaleur récupérée pour des usages domestiques (chauffage, eau chaude sanitaire)

En conclusion, l'intégration d'un système hybride PVT dans l'habitat s'avère être une solution prometteuse pour répondre aux enjeux actuels de performance énergétique, de réduction des coûts et de développement durable. Les perspectives d'amélioration portent notamment sur l'optimisation des matériaux, des configurations de capteurs et des systèmes de gestion énergétique, afin de maximiser le rendement global et la rentabilité de ces installations dans le contexte résidentiel

Ce travail ouvre ainsi la voie à des recherches futures sur l'industrialisation, la maintenance et l'optimisation des systèmes PVT, ainsi qu'à leur adaptation aux différents types d'habitats et de climats.

Bibliographie

- [1] HENINI Nourdine, "Conception d'un mini-système de cogénération à usage domestique », Mémoire de fin d'études de Master, université Yahia farés de Médéa, 2022-2023.
- [2] Pierre FRANCOIS, " Contribution à la modélisation électromagnétique d'un générateur linéaire à induction appliquée à un micro-cogénérateur Stirling à piston libre," ENS Cachan, Thèse de doctorat 2011.
- [3] Isabel GARCIA-BURREL, "Modélisation, commande et optimisation d'un système de micro-cogénération par moteur Stirling "double effet" et générateur asynchrone linéaire," ENS Cachan, Thèse de doctorat 2007.
- [4] Site Internet, la date de consultation 20/05/2025:<https://www.encyclopedie-energie.org/cogeneration-et-stockage-saisonnier-de-la-chaleur-pour-habitat-tertiaire/>.
- [5] M. Stanislas N. B.BROU, "Modélisation et commande d'un système de cogénération utilisant des énergies renouvelables pour le bâtiment", these de doctorat de l'université paris-saclay, préparée à l'université d'evry val-d'essonne, 12 octobre 2015.
- [6] Ochoa AAV, Dutra JCC, Henriques JRG, Rohatgi J. "Energetic and exergetic study of a10RT absorption chiller integrated into a microgénération system". Energy Convers Manage 2014;88:545–53. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2014.08.064>.
- [7] Liang Y, Shu G, Tian H, Wei H, Liang X, Liu L, et al. "Theoretical analysis of a novel electricity–cooling cogeneration system (ECCS) based on cascade use of waste heat of marine engine".Energy Convers Manage 2014;85:888–94. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0196890414000430?via%3Dihub>.
- [8] Jiang L, Lu H, Wang R, Wang L, Gong L, Lu Y, et al. Investigation on an innovative cascading cycle for power and refrigeration cogeneration. Energy Convers Manage 2017;145:20–9. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.04.086>.
- [9] Nia MH, Nejad AA, Goudarzi AM, Valizadeh M, Samadian P. Cogeneration solar system using thermoelectric module and Fresnel lens. Energy Convers Manage 2014;84:305–10. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2014.04.041>.
- [10] MUNIKWA Ropafadzo, Etude thermodynamique d'une installation de cogénération en utilisant EES,mémoire Master,2018/2019, Université Aboubakr Belkaïd– Tlemcen.
- [11] Dabwan YN, Mokheimer EMA. Optimal integration of linear Fresnel reflector with gas turbine cogeneration power plant. Energy Convers Manage 2017;148:830–43. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.06.057>.

- [12] Mondir SOUALAH, etude des performences des cycles de cogeneration solaire pour la production d'électricite et de froid dans les zones arides, these de doctorat (Imd) 2023/2024, universite saad dahlab de blida 1.
- [13] Daxhelet, D. and J.-M. Lambotte, Estimation des émissions en CO₂ suivant des scénarios d'aménagement-in: Contribution du développement territorial à la réduction de l'effet de serre-Rapport final de la subvention 2002-2003. 2003.
- [14] Simon Martinez. Etudes expérimentales et numériques d'un micro-cogénérateur solaire - Intégration à un bâtiment résidentiel, THÈSE Doctorale , UNIVERSITE DE LA ROCHELLE, 2018.
- [15] Site internet, date de consultation le 2/4/2025: <https://www.choisir.com/energie/articles/104498/qu-est-ce-que-la-cogeneration>
- [16] S.C. Solanki, S. Dubey, A. Tiwari, Indoor simulation and testing of photovoltaic thermal (PV/T) air collectors, Applied Energy, Volume 86, Issue 11, 2009, Pages 2421-2428.
- [17] Achraf Nedjar, Dimensionnement et optimisation d'un système PVT avec intégration dans le bâtiment pour la production de froid, These de doctorat de cy cergy paris université, 2024.
- [18] ATBA Itidel ; Etude numérique de l'effet de l'utilisation des panneaux solaires hybrides PV/ T sur les comportements thermiques et cinétiques de séché à air utilisé dans séchoir solaire indirect, 2023/2024, Université Kasdi Merbah Ouargla.
- [19] H. Bahaidarah, P. Gandhidasan, B. Tanweer, Experimental evaluation of the performance of a photovoltaic panel with water cooling, Conference Record of the IEEE Photovoltaic Specialists Conference (2013). Pages 2987-2991.
- [20] T.T. Chow, A review on photovoltaic/thermal hybrid solar technology, Applied Energy, Volume 87, Issue 2, 2010, Pages 365-379.
- [21] N. Aste, F. Leonforte, C. Del Pero, Design, modeling and performance monitoring of a photovoltaic– thermal (PVT) water collector, Solar Energy, Volume 112, 2015, Pages 85-99.
- [22] M. Herrando, C.N. Markides, Hybrid PV and solar-thermal systems for domestic heat and power provision in the UK: Techno-economic considerations, Applied Energy, Volume 161, 2016, Pages 512-532.
- [23] M. Herrando, C.N. Markides, K. Hellgardt, A UK-based assessment of hybrid PV and solar-thermal systems for domestic heating and power: System performance, Applied Energy, Volume 122, 2014, Pages 288-309.

- [24] Ramdani, H. (2016). Etude d'un Capteur Solaire Photovoltaïque/Thermique à Base de Nano-fluide. Université 8 Mai 1945 Guelma.
- [25] Matallah Sorya (2015) Dimensionnement et simulation d'un système photovoltaïque pour alimenter un habitat dans la wilaya d'Ouargla. Université KM Ouargla
- [26] Bambrook SM, Sproul AB. Maximising the energy output of a PVT air system. *Sol Energy*. 2012, Vol. 86(6), 1857-71
- [27] Agrawal S, Tiwari GN. Enviroeconomic analysis and energy matrices of glazed hybrid photovoltaic thermal module air collector. [éd.] *Sol Energy*. 2013, Vol. 92, 139-46.
- [28] Slimani M.E.A, Amirat, M., Kurucz, I., Bahria, S., Hamidat, A., Chaouch, W. A detailed thermal-electrical model of three photo-voltaic/thermal (PV/T) hybrid air collectors and photovoltaic (PV) module: comparative study under Algiers climatic conditions. *J. Energy Convers. Manag.* 2017, Vol. 133, 485-476.
- [29] KAABI, A. BENBOUZA, CH. Production et performance des capteurs hybrides PV/T à eau intégrés dans le bâtiment (2017). Université Frères Mentouri CONSTANTINE.
- [30] A. Tiwari, M. S. Sodha, A. Chandra et al, « Performance evaluation of photovoltaic thermal solar air collector for composite climate of India », *Journal of Solar Energy Materials and Solar Cells*, Vol. 90, (2006).
- [31] Hasila Jarimi , Mohd Nazari Abu Bakar , Mahmud Othman , Mahadzir Hj Din , Bi-fluid photovoltaic/thermal (PV/T) solar collector: Experimental validation of a 2-D theoretical model, *Renewable Energy* Volume 85, January 2016, Pages 1052-1067
- [32] M. Saidan et al. Experimental study on the effect of dust deposition on solar photovoltaic panels in desert environment, *Renew. Energy* (2016)
- [33] M. Fathi et al. Technical and economic assessment of cleaning protocol for photovoltaic power plants: Case of Algerian Sahara sites, *Sol. Energy* (2017)
- [34] RETERI Ahmed, Modélisation thermique du refroidissement des capteurs hybrides photovoltaïques-thermiques à l'aide des matériaux à changement de phase, thèse doctorat 3ème Cycle 2017/2018, Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen.
- [35] B. Roula and H. Boulouaret. "l'influence des paramètres de fonctionnement sur les performances d'un capteur hybride PVT.". 2020.
- [36] Abbou, W. & Mezioud D. N. E. H. Systèmes solaires hybride photovoltaïque et thermique pour le chauffage, la climatisation et l'alimentation en énergie électrique d'une maison. Mémoire de Master 2020, université Abdelhamid ibn badis Mostaganem.

- [37] W. Javed et al. Effect of relative humidity on dust removal performance of electrodynamic dust shield , J. Electrostat. (2020)
- [38] Abdelkrim Khelifa et Khaled Touafek, Etude de l'influence des paramètres externes et internes sur le capteur hybride photovoltaïque thermique (PVT), Revue des Energies Renouvelables Vol. 15 N°1 (2012) 67 – 75
- [39] Bourouis Bilal Hachani ,Ibtissem Karima ; Modélisation d'un Capteur Photovoltaïque /Thermique ; mémoire de fin d'étude master, 2018/2019, Université Kasdi Merbah d'Ouargla.
- [40] K. Touafek, 'Etude d'un Capteur Solaire Hybride Photovoltaïque Thermique', Mémoire de Magister, Ecole Nationale Polytechnique, Alger, 2005.
- [41] BENSELLAMA Elhadi, Modélisation d'un capteur solaire hybride photovoltaïque thermique, mémoire de fin d'étude, université de Blida, 2006-2007.
- [42] Tanvir Ahmad, Sharmin Sobhan and Md Faysal Nayan, 'Comparative Analysis Between Single Diode and Double Diode Model of PV Cell: Concentrate Different Parameters Effect On its Efficiency', Journal of Power and Energy Engineering, Vol.
- [43] D. S. H. Chan and J. C. H. Phang, "Analytical Methods for the Extraction of Solar-Cell Single-and Double-Diode Model Parameters from I-V Characteristics," IEEE Trans. Electron Devices, vol. 34, no. 2, pp. 286–293, Feb. 1987, doi: 10.1109/T-ED.1987.22920.
- [44] M. MUSTAPHA BELARBI, Contribution à l'étude d'un générateur solaire pour site autonome, Thèse de Doctorat Es-Sciences, 10.09.2015, université des sciences et de la technologie d'Oran.
- [45] T. U. Townsend, "a Method for Estimating the Long-Term Performance of Direct-Coupled Photovoltaic Systems," a Method Estim. Long-Term Perform. Direct-Coupled Photovolt. Syst., 1989.
- [46] S. R. Pendem et S. Mikkili, « Modeling, simulation and performance analysis of solar PV array configurations (Series, Series–Parallel and Honey-Comb) to extract maximum power under Partial Shading Conditions », Energy Reports, vol. 4, p. 274–287, 2018.
- [47] J. Bai, S. Liu, Y. Hao, Z. Zhang, M. Jiang, et Y. Zhang, « Development of a new compound method to extract the five parameters of PV modules », Energy Conversion and Management, vol. 79, p. 294–303, 2014
- [48] ADR12002-CCC-500-EXP-ETD-0002.

Annexe

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Université de Ghardaïa
Faculté des Sciences et de la Technologie



جامعة غرداية
كلية العلوم والتكنولوجيا

قسم الآلية و الالكتروميكانيك

غرداية في : 30./06./2025

شعبة Electrotechnique

تخصص: Energies renouvelables en électrotechnique

شهادة ترخيص بالتصحيح والاياداع:

انا الاستاذ زقاوي عبد الله

بصفتي المشرف المسؤول عن تصحيح مذكرة تخرج (ليسانس/ماستر/دكتورا) المعنونة ب:

Étude et Conception d'un Système Hybride PVT Intégré dans l'Habitat

من انجاز الطالب (الطالبة):

KADI Mansour

التي نوقشت/قيمت بتاريخ 12/06/2025

اشهد ان الطالب/الطالبة قد قام/قاموا بالتعديلات والتصحيحات المطلوبة من طرف لجنة المناقشة وقد تم التحقق من ذلك من طرفنا أعضاء لجنة المناقشة وقد استوفت جميع الشروط المطلوبة .

مصادقة رئيس القسم

امضاء المسؤول عن التصحيح

