# الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية République Algérienne Démocratique et Populaire وزارة التعليم العالي والبحث العلمي Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

UNIVERSITE AHMED DRAIA -ADRAR-



جامعة أحمد در اية-أدر ار Année/2022

Faculté des Sciences et de la Technologie Département des Sciences de la Matière

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

Physique

**Option :** Physique Energétique et Energies Renouvelables

# Thème

Présenté Par :

Etude paramétrique d'un capteur hybride doté d'un concentrateur parabolique composé (PVT-CPC)

#### Mlle : MEKADEM Hafsa Et Mlle : MELLOUKI Hadja

### Devant le jury composé de:

Mr. TIGRINE Rachid Mr. Ahmed MEDIANI Mr. Ahmed HAZEM

Président	
Examinateur	
Promoteur	

Pr MRB MRB Université Ahmed Draia-Adrar Université Ahmed Draia-Adrar URERMS (CDER) Adrar

Année Universitaire 2021/2022



<section-header><section-header><section-header><section-header><section-header><section-header><text><text><text><text>

<section-header><section-header>

<text>

<section-header><text>

NOMENCLATUR	7
LISTE DES FIGURES	9
LISTE DES TABLEAUX	IV
INTRODUCTION GENERALE	IV
Chapitre I:	1
L'énergie solaire	1
I. 1. Introduction	1
I. 2 L'énergie solaire	1
I.2.1. Les différents types de l'énergie solaire :	1
a. L'énergie solaire thermique	1
b. L'énergie photovoltaïque	2
c. L'énergie solaire thermodynamique	2
I. 3. Le rayonnement solaire	3
I.3.1: Type de rayonnement solaire: [5]	3
I. 3.2. Le spectre solaire [3]:	4
I.3.2.1. Le rayonnement direct:	4
I.3.2.2. Le rayonnement diffus:	4
I. 3.2. 3. Le rayonnement réfléchi	4
I.3.2.4. Le rayonnement global:	5
I. 4. La conversion de l'énergie solaire:	5
I.5. La concentration solaire:	5
I. 6. Classification des capteurs à concentration :	б
I.7. Les panneaux photovoltaïques:	7
I.7.1. Les composent des panneaux photovoltaïques:	
I.7.2. Les types des cellules photovoltaïques:	
I.8. Les capteurs solaires thermiques:	9
I.8.1. Le principe d'un capteur solaire thermique:	9
I.8.2. Les types de capteur solaire thermique:	
8.2.1. Les capteurs plans vitrés:	
a. Les capteurs solaires thermiques à eau:	11
b. Les capteurs solaires thermiques à air	11
8.2.2. Les capteurs non vitrés	
8.2.3. Les capteurs à tubes sous vide:	
I.9. Les panneaux solaires hybrides PVT:	
I.9.1. Comment fonctionne les panneaux solaires hybrides?	

# SOMMAIRE

I.9.2. Types Des panneaux solaires hybrides PVT:	13
I .9.2.1. Les panneaux solaires hybrides PVT plans	13
a. Capteurs solaires hybrides PVT à eau :	13
b. Les capteurs solaires hybrides PVT à air :	14
I .9.2.2. Les capteurs solaires hybrides PV/T à concentration	14
I.10. Concentrateur parabolique composé (CPC):	15
I. 10. 1. Définition :	15
I.10.2. Le CPC, pièce maîtresse du capteur :	17
I.10.3. L'angle d'acceptation:	17
I.10.4.Coefficient de concentration géométrique :	18
I.10.5.Géométrie de base [13]	18
Chapitre II:	21
Généralités sur la Transfer de chaleur	21
II.1.Introduction	21
II.2. Définitions:	21
II.3.Transfert de chaleur par conduction	22
II.4. Transfert de chaleur par convection:	24
II. 4.1. La convection naturelle:	25
II.4.2. La convection forcée	26
II.4.3. La convection mixte:	26
II. 5. Transfert de chaleur par rayonnement	26
II.6.Comparaison des modes de transfert: [18]	27
Table 2.1: Comparaison entre les modes de transfert de chaleur.	27
II. 7. Nombre adimensionnel	28
II.7.1. Nombre de Nusselt:	28
II.7.2. Nombre de Reynolds:	29
II.7.3. Nombre de Prandtl :	30
II. 7.4. Le nombre de Grashof	30
II.8.Conclusion	31
Chapitre III:	33
Modèle mathématique du CPC_PVT	33
III .1. Introduction :	33
III.2. Model physique	34
III.3. Hypothèses simplificatrices	34
III.4. Bilan thermique de PVT:	34
III.4.1. Bilan de la couche du verre	35
III.4.2. Bilan de la cellule :	37

III.4.3. Bilan pour la couche du tedlar :	
III.4.4. Bilan de la plaque	
III.5. Méthodes du Range-Kutta	
III.6. Résolution numérique du système:	
III .7. L'organigramme du system d'équations	45
Chapitre: IV	
Résultats et discussion	
IV. 1. Introduction	
IV. 2. Résultats et discussion	
IV. 2.1. Variation du rayonnement solaire :	
IV. 2.2. La variation de la température ambiante et du ciel:	
IV. 3. Partie I :	50
IV. 3.1. Evolution des températures des différentes couches du PVT:	50
IV. 3.2. Variation de la température des cellules:	
IV. 3.3. Variation de la puissance et du rendement électrique:	
IV. 4. Partie II :	
IV. 5. Partie III :	
IV. 6. Partie IV	
IV.7. Conclusion:	59
Conclusion générale	61

# NOMENCLATUR

Symbole	Définition	Unités
Α	Surface	[m²]
Ср	Capacité calorifique	[J/kg.K]
С	Concentration	[-]
e	Epaisseur	[m]
g	Accélération de la pesanteur	[m/s <sup>2</sup> ]
h	Coefficient de transfert par rayonnement	[w/m²]
Ι	Rayonnement solaire	[w/m²]
Gr	Nombre de Grashoff	[-]
L	Longueurdu panneau	[m]
m	Masse	[Kg]
ṁ	Début massique	[Kg/s]
Nu	Nombre de Nusselt	[-]
Pr	Nombre de Prandtl	[-]
PAC	Taux de compacité d'un module PV (the packing factor)	[-]
Q	Flux absorbé	[w/m²]
Re	Nombre de Reynolds	[-]
Т	Température	[k]
V	Vitesse	[m/s]

Grec

θ	Angle d'inclinaison du capteur	(°)
τ	Coefficient de transmissivité	[-]
ρ	Masse volumique	$[kg/m^3]$
α	Coefficient d'absorption	[-]
β	Coefficient de la dilatation thermique	[k <sup>-1</sup> ]
η	Rendement	[-]
σ	Constant de Stefan Boltzmann	$[w/m^2.k^4]$
μ	Viscosité dynamique du fluide	$[Kg.m^{-1}.s^{-1}]$

ν	Viscosité cinématique du fluide	$[m^2/s]$
3	Emissivité	[-]

Symboles

a	Air
с	Cellule
e	Eau
р	Plaque
t	Tedlar
v	Verre
abs	Absorbé
amb	Ambiante
cond	Conduction
conv	Convection
ciel	Ciel

# LISTE DES FIGURES

Chapitre I:	L'énergie solaire
Figure1-1: L'utilisation directe de l'énergie solaire	2
Figure1-2: Rayonnement solaire reçu par la terre	
Figure 1-3: Panneaux solaires photovoltaïques	7
Figure 1-4: L'effet capteur solaire thermique.	
Figure 1-5 : Capteur plan à eau [2]	
Figure 1-6: Capteur plan à air	
Figure 1-7:Capteur plan sans vitrage [9]	
Figure 1-8:capteur à tube sous vide	14
Figure 1-9: Capteur solaire hybride à eau [10]	14
Figure 1-10: Capteur solaire hybride à eau [10]	14
Figure 1-11: Capteur solaire CPVT [8]	14
Figure 1-12: Concentrateur parabolique composé (CPC) ;(symétrique)	14
Figure 1-13: Concentrateur parabolique compose	14
Figure 1-14: Concentrateur parabolique composé tronqué	20
Chapitre II:Généralités sur la Tra	ansfer de chaleur
Figure 2.1 : Les 3 modes de transfert thermique [11]	
Figure 2.2 : Schéma de transfert de chaleur conductif	
Figure 2.3 : Schéma de transfert de chaleur par convectif	
Figure 2.4 : Exemple illustrant la convection naturelle. [18]	
Figure 2.5 : Schéma de transfert de chaleur par rayonnement	
Chapitre III: Modèle mathématiq	ue du CPC PVT
<b>Figure3-1</b> : Modèle de CPC-PVT expérimental utilisé dans l'étude	
Figure 3-2:Le modèle du CPC_PVT étudie dans le présent travail	
Figure3-3: L'échange thermique au niveau du verre du PV.	
Figure 3-4: L'échange thermique au niveau de la cellule.	
Figure 3-5: L'échange thermique au niveau du tedlar	
Figure 3-6: L'échange thermique au niveau de la plaque.	
Figure 3-7 : L'organigramme pour résoudre les équations du bilan thermiqu	ıe54

Chapitre: IVRésultats et discussion
Figure 4-1: Evolution du rayonnement solaire pendant la journée du 21/07
Figure 4- 2-: Variation de la température de ciel pour la journée du 21/07
Figure 4-3: Variation de la température ambiante pour la journée du 21/07
Figure 4-4: Variations des températures des couches de PVT et la température ambiante. 51
Figure 4-5: Variation de la température de la cellule et la température ambiante
Figure 4 -6: Variation de la puissance électrique
Figure4-7: la variation de rendement électrique53
<b>Figure 4-8</b> : Variation de la température des cellules du CPC-PVT en fonction de la concentration solaire
Figure 4-9: Evolution du rendement électrique du système CPC-PVT
Figure 4-10: Variation de la température des cellules après refroidissement
Figure 4-11: variation du rendement électrique au cours de temps
Figure 4-12: Variation du la température de cellule après le refroidissement
Figure 4-13: La variation de la puissance électrique du CPC-PVT59
Figure 4-14: La variation du rendement électrique du CPC-PVT.

# LISTE DES TABLEAUX

<b>Fable1-1:</b> Type de rayonnement solaire	4
<b>Table1-2</b> :Caractéristiques des centrales solaires à concentration [7]	6
<b>Table 2.1</b> : Comparaison entre les modes de transfert de chaleur	27
<b>Table 3-1</b> : Propriétés physiques de l'eau et de l'air.[4]	40
<b>Table 3_2</b> : Propriétés physiques de l'eau et de l'air qui utilisé pour $\theta$ =27.8C°	40
<b>Table4-1</b> : Tableau des données qui utilisé pour la simulation	62

# INTRODUCTION GENERALE

#### **INTRODUCTION GENERALE**

En raison de la demande mondiale croissante en énergie [1], les ressources énergétiques fossiles diminuent progressivement. En conséquence, les gisements de pétrole brut et de gaz naturel seront épuisés dans un proche avenir. De plus, l'utilisation massive de combustibles fossiles et de bois cause de graves dommages à l'environnement, incitant à rechercher d'autres sources d'énergie respectueuses de l'environnement, comme l'énergie solaire.

L'énergie solaire est la principale source d'énergie sur la planète, et la plupart des sources d'énergies renouvelables disponibles reviennent au rayonnement solaire. Toutes sortes d'énergies, y compris le pétrole, le gaz et le charbon, ont été formées par la lumière du soleil et la chaleuret la pression subséquente à travers les cordons temporels, ainsi que des sources d'énergie secondaire etelle que l'irrigation et l'énergie géothermique.

Le développement de la grande échelle des énergies renouvelables telles que les systèmes solaires thermiques ou photovoltaïques, les éoliennes, les piles à combustible, etc., a récemment été enregistré. Cela a conduit à une combinaison de différents systèmes de sources d'énergie, qui sont également appelés systèmes hybrides et sont utilisés pour répondre à plusieurs besoins énergétiques. Parmi ses différents types de systèmes hybrides, on va étudier dans ce travail le système hybride photovoltaïque thermique, c'est-à-dire le panneau solaire hybride(PVT) avec une basse concentration solaire, assuréepar un concentrateur parabolique composé(CPC).

Durant la conversion photovoltaïque du capteur solaire une chaleur est générée ce qui augmentera la température de la cellule photovoltaïque et causera une chute de son rendement. Cet échauffement a été considéré comme néfaste pour le rendement des capteurs solaires photovoltaïques et plusieurs efforts ont été consentis pour évacuer cette chaleur. Le rendement électrique du capteur hybride (PVT) pourrait même s'améliorer avec l'augmentation de l'intensité du rayonnement solaire si un système est placé pour extraire de la chaleur des cellules solaires, ce qui va le refroidir en même temps. [2]

Le but de notre travail est d'étudier le comportement thermique et électrique d'un CPC\_PVT. On cherche le changement de température à travers différentes couches de panneaux photovoltaïques à basse concentration solaire. Afin que nous fassions une

- 4 étude théorique et ensuite appliquée. Puis nous réduisons la température des panneaux
- photovoltaïques en utilisant certaines méthodes de refroidissement des panneaux photovoltaïques.
- 4 Cette mémoire est divisée en quatre chapitres. :
- Dans le premier chapitre nous avons faires une étude générale sur l'énergie solaire et leur application.
- Pour le deuxième chapitre on a présenté les différents modes de transfert de chaleur et les nombres adimensionnels.
- Dans le chapitre trois on a abordé la modélisationmathématique du système hybride, c'est-à-direle PVT\_CPC, tout en basant sur des bilans énergétiques au niveau de chaque couche, ce qui permettait ensuite de calculer le rendement et la puissance électrique à partir de l'effet de différents paramètres externes (le débit et la concentration solaire).
- Enfin, et dansle dernier chapitre nous avons présenté les résultats obtenus avec une interprétation, et finalement comme tous travaux, une conclusion générale est présentée.

# Chapitre I

# **Chapitre I:**

## L'énergie solaire

#### I. 1. Introduction:

L'énergie solaire est considérée comme l'énergie renouvelable la plus utilisée par les humains, car c'est une énergie propre qui ne laisse aucun résidu négatif et qui est permanente et continue tant que le soleil existe. Actuellement, la recherche et les expériences visent à utiliser l'énergie solaire et à la transformer en électricité. L'énergie solaire est largement utilisée en la convertissant en électricité et en énergie thermique par conversion solaire directe photovoltaïque et thermique.

#### I. 2 L'énergie solaire:

L'énergie solaire est la lumière et la chaleur émises par le soleil. Cette énergie permet de produire de l'électricité à partir des panneaux photovoltaïques ou des centrales solaires thermiques, grâce à la lumière du soleil capté par des capteurs solaires.

Les techniques impliquant l'utilisation de l'énergie solaire thermique, que ce soit pour le chauffage direct ou dans le cadre de la conversion mécanique de l'énergie électrique ou de mouvement, ou pour produire de l'électricité via des phénomènes photovoltaïques à l'aide de panneaux photovoltaïque et d'architecture solaire, peuvent contribuer de manière significative à résoudre certains des problèmes les plus urgents du monde aujourd'hui.

#### I.2.1. Les différents types de l'énergie solaire :

#### a. L'énergie solaire thermique:

Cette énergie transforme la lumière du soleil en chaleur. Il peut utiliser directement pour chauffer l'eau. La lumière solaire est captée par des capteurs solaires thermiques en verre qui transmettent l'énergie solaire aux absorbeurs métallique, afin de chauffer le fluide caloporteur, comme l'air ou l'eau.

#### b. L'énergie photovoltaïque

L'énergie solaire photovoltaïque a le même principe que l'énergie solaire thermique, sauf qu'une fois que la lumière solaire est captée par les capteurs solaires, elle est convertie en énergie électrique utilisable.

#### c. L'énergie solaire thermodynamique

Dans ce phénomène, le rayonnement solaire chauffe l'eau, qui se transforme alors en vapeur. Cette vapeur est tourné la turbine, qui semble être en mouvement pour la production de l'énergie électrique.

#### I.2.2. Les différentes formes de l'énergie solaire :

Nous pouvons exploiter l'énergie solaire dans plusieurs domaines en utilisant des moyens et des techniques qui convertissent cette énergie extraite du soleil, que ce soit chaleur (énergie thermique) ou en électricité. La figure suivant illustre cela



Figure1-1: L'utilisation directe de l'énergie solaire.

#### I.3. Le rayonnement solaire:

Le rayonnement solaire désigne l'ensemble des ondes électromagnétiques émises par le soleil. Il se compose donc d'ultraviolets, de la lumière visible, mais également d'ondes radio en plus de rayons cosmiques [3]

Le rayonnement solaire reçu au sommet de l'atmosphère, dans un plan perpendiculaire aux rayons solaires et pour une distance terre-soleil égale à sa valeur moyenne, est appelée la constante solaire et vaut 1367W/m<sup>2</sup>. Lorsque ce rayonnement traverse l'atmosphère pour atteindre la surface terrestre, il est fortement atténué en raison des phénomènes d'absorption et de diffusion par les différents constituants de celle-ci. [4]



Figure1-2: Rayonnement solaire reçu par la terre

#### **I.3.1:** Type de rayonnement solaire:

Le rayonnement émis par le soleil est classé en plusieurs types qui diffèrent selon leurs longueurs d'onde et le pourcentage de rayonnement qui peut tomber sur la terre[5]. Le tableau suivant illustre cela :

Type de	Définir	Rapporte de	Longueur du
solaire		rayonnement	vecteur
Rayons de chaleur	Elle est invisible	50%	(0.75-4.0)
			micron
Rayons de	Elle s'appelle la	37%	(0.40 - 0.70)
lumière	lumière visible qui		micron
	pénètre l'espace		
	cosmique sans ente		
	vue, mais elle		
	illumine le milieu		
	physique		
	transparent dans		
	lequel elle se		
	disperse comme		
	une atmosphère, ou		
	se réfléchit comme		
	la surface de la		
	lune		
Rayons ultraviolets	Invisible	13%	(0.17-0.40) micron

#### Table1-1:Type de rayonnement solaire

#### I.3.2. Le spectre solaire :

Afin de quantifier l'énergie développée par le générateur photovoltaïque dans une application donnée, il est nécessaire de connaître le spectre du rayonnement solaire reçu sur sol. En effet, quatre types de rayonnement ont été répertoriés dans la littérature.[3]

#### I.3.2.1. Le rayonnement direct:

Le rayonnement direct sur le plan horizontal, est la différence entre le rayonnement global et le rayonnement diffus. Le rayonnement direct d'un plan d'angle d'azimut  $\alpha$  et d'inclinaison  $\beta$  est converti selon l'équation suivante :

#### I.3.2.2. Le rayonnement diffus:

Cela est dû à l'absorption et à la diffusion d'une partie du rayonnement solaire global par l'atmosphère et à sa réflexion par les nuages et les aérosols.

#### I.3.2.3.Le rayonnement réfléchi:

C'est le rayonnement qui est réfléchi par la terre ou les objets à sa surface. Cet albédo peut être important lorsque le sol est particulièrement réfléchissant

#### I.3.2.4. Le rayonnement global:

Rayonnement global divisé en réflexion directe, diffuse et terrestre.

#### I.4. La conversion de l'énergie solaire:

L'énergie solaire peut être convertie en énergie thermique par le mécanisme de conversion photoélectrique et thermique del'énergie solaire, et les moyens de conversion photoélectrique: c'est la transformation qui se produit sur le rayonnement solaire ou le rayonnement lumineux produisant de l'énergie électrique par des cellules solaires (photovoltaïque), qui consiste à matériaux semi-conducteurs tels que le silicium, le germanium ... etc. Ce phénomène été découvert à la fin du XIXe siècle par des physiciens, qui ont découvert que la lumière peut libérer des électrons de certains métaux, en particulier la lumière bleue a une grande capacité à libérer des électrons par rapport à la lumière jaune.

La conversion thermique de l'énergie solaire, elle dépend de la conversion du rayonnement solaire en énergie thermique à travers des capteurs solaires et des matériaux thermiques. Lorsqu'un objet de couleur sombre et isolé est exposé au rayonnement solaire, il absorbe le rayonnement et sa température augmente. Cette chaleur est utilisée pour le chauffage, le refroidissement, le chauffage d'eau, la production d'électricité ... etc. Les applications des chauffe-eau solaires sont les plus répandues dans le domaine de la conversion thermique de l'énergie solaire.

#### I.5. La concentration solaire:

C'est le processus de production d'énergie électrique en convertissant l'énergie du soleil en chaleur intense à l'aide de différentes configurations de miroirs, puis en dirigeant cette chaleur vers un générateur conventionnel. L'énergie électrique est produite lorsque la lumière concentrée (lumière du soleil) est convertie en chaleur, que à son tour fait tourner un moteur thermique (habituellement une turbine à vapeur) relié à un générateur d'énergie électrique, ou active une réaction thermochimique.

L'énergie solaire à concentration est une option attrayante pour la production d'énergie renouvelable dans de nombreuses régions à travers le monde.Il existe plusieurs technologies

solaires à concentration que sont promues au niveau internationale, telles que les systèmes de semi cylindrique, les systèmes de tour de puissance,...etc.

Chacune de ces techniques a des conceptions et des formes différentes. La quantité d'énergie produite par une centrale solaire à concentration dépend de la quantité de lumière directe du soleil. Comme les capteurs photovoltaïques concentrés, ces technologies n'utilisent que la lumière directe du soleil, pas le rayonnement solaire diffus.

Toutes les méthodes nécessitent de grandes zones de collecte de rayonnement solaire lorsqu'elles sont utilisées pour produire de l'électricité à l'échelle commerciale. [6]

Les caractéristiques techniques principales de ces centrales solaires à concentration (CSP) sont présentées dans le tableau ci- dessous.

Type de champ solaire	Facteur de concentration	Capacité d'unité (MW)	Prix du champ solaire (€/m²)	Température d'opération (°C)
Miroirs de Fresnel	25-100	10-200	150-200	270-550
Cylindro- parabolique	70-80	10-200	200-250	390-550
parabolique	1000-3000	0.01-0.04	>350	800-900
Tour solaire	300-1000	10-150	250-300	550-1000

Table1-2: Caractéristiques des centrales solaires à concentration [7]

#### I. 6. Classification des capteurs à concentration :

Il existe plusieurs types de concentrateurs et ils continuent de susciter l'intérêt des chercheurs. Plusieurs critères peuvent être utilisés pour distinguer les différents concentrateurs :

 Le rapport de concentration C détermine les températures opératoires. On peut distinguer : -Faibles concentrations (1<C<10, T~150°C)</li>

-Moyennes concentrations (10<C<100, T~300°C)

- -Fortes concentrations (C>100 ; T>500 °C)
- Les caractéristiques géométriques. Nous distinguons :

-Systèmes à deux dimensions.

-Systèmes à trois dimensions.

• Les modes de pointage. Les concentrateurs peuvent être :

-Fixes ou périodiquement orientés.

- -Mobiles autour d'un axe.
- -Mobiles autour de deux axes.
- Les positions relatives de l'absorbeur et du concentrateur selon que l'un est mobile par rapport à l'autre ou que les deux sont solidaires.

#### I.7. Les panneaux photovoltaïques:

L'énergie solaire photovoltaïque est l'électricité qui produite par la transformation d'une partie du rayonnement solaire avec une cellule photovoltaïque. Le terme photovoltaïque peut désigner soit le phénomène physique, l'effet photovoltaïque découvert par Alexandre Edmond Becquerel en 1839.

Les panneaux photovoltaïques sont ensembles des cellules connectées pour convertir l'énergie lumineuse en énergie électrique (courant continu). L'unité de base d'un panneau solaire photovoltaïque est les cellules photovoltaïques.



Figure 1-3: Panneaux solaires photovoltaïques.

#### I.7.1. Les composent des panneaux photovoltaïques:

**Verre :** c'est verre trempé avec une faible teneur en oxyde de fer pour assurer une bonne transmission.

**EVA :** L'éthylène-acétate de vinyle, c'est une résine transparente, formée de chaînes de copolymères d'éthylène et de vinyle acétate, elle présente de grandes propriétés adhésives, une bonne transmission optique, un très faible taux d'absorption d'eau comme elle a une bonne résistivité électrique.

La cellule solaire (photovoltaïques) : est la base du module PV, elle est formée avec un ou plusieurs matériaux semi-conducteurs (homo-jonction ou hétérojonction) avec un dopage différent dans ces couches. Sont des composants photovoltaïques qui transforment directement la lumière du solaire en énergie électrique à travers un phénomène appelé "l'effet photovoltaïque", qui découvert par E. Becquerel en 1839. Les cellules solaires sont faites de matériau semi-conducteur, généralement un cristal de silicium. Lorsque le rayonnement solaire atteint le panneau solaire photovoltaïque, la lumière est absorbée par les cristaux de silicium. Cette absorption élimine les électrons de leurs atomes, Les électrons sont recueillis par des cristaux de silicium pour produire de l'électricité. [8]

**Tedlar :** Il est utilisé en arrière du module, il est constitué d'un polymère fluoré appelé polyvinyle fluoré (PVF) ou bien d'un plastique, appelé (PET).

Cadre : qui sert à protéger les constituants suscités comme il facilite letransport et l'installation. [2]

#### I.7.2. Les types des cellules photovoltaïques:

Il existe plusieurs familles des cellules photovoltaïques, les plus utilisées sur le marché sont les cellules en silicium cristallin et les cellules en couches minces. On put avoir comme de suit :

**Cellules monocristallines:** sont fabriquées à partir d'un seul cristal cylindrique de silicium, leur rendement autour de 15 %.



**Cellulespoly-cristallines:** Dans le processus de fabrication des cellules poly-cristallines, le silicium fondu est coulé en lingots de



silicium poly-cristallin. Ces lingots sont ensuite sciés en tranches très fines et assemblés en cellules complètes.

**Cellules amorphes:** Les cellules de silicium amorphe incluent des atomes de silicium dans une couche mince homogène plutôt qu'une structure cristalline.

**Cellules encouche mince:** sont fabriquées en déposant une ou plusieurs couches semi-conductrices et photosensibles sur unsupport (acier, verre, plastique).

**Cellules à concentration :** Elles sont placées au sein d'un foyer optique qui concentre la lumière. Leur rendement est élevé, qui atteint 20 à 30 %.

**Cellules organiques :** Composes de semi-conducteurs organiques déposés sur un substrat en verre ou en plastique.

#### I.8. Les capteurs solaires thermiques:

La conversion de l'énergie solaire en énergie thermique repose sur le fait de piéger le rayonnement électromagnétique entre deux surfaces, qui sont : le vitrage et l'absorbeur. Ce dernier communique cette énergie au fluide caloporteur utilisé, que ce soit l'eau ou l'air. [2]

#### I.8.1. Le principe d'un capteur solaire thermique:

Un capteur solaire est un dispositif qui absorbe le rayonnement solaire et le convertit en chaleur qui sera transmise à un fluide "fluide caloporteur". Ce système de captage base sur l'effet de serre. Le rayonnement est capté dans le domaine du visible et du proche infrarouge (longueurs d'ondes comprises entre 0.3 et 3 m). Les rayons tombant sur le verre sont piégés à









l'intérieur du capteur à travers la surface d'absorption noire, cette chaleur est transférée au liquide.

L'absorbeur émet du rayonnement thermique dans un domaine de l'infrarouge éloigné du visible (entre 4 et 30µm). Ce rayonnement est totalement arrêté par la paroi du verre qui s'échauffe et rayonne par moitié vers la surface absorbante et par moitié vers l'extérieur. Le fluide qui circule sous cette paroi récupère par convection une partie de cette énergie absorbée et subit une élévation de température à la traversée du capteur. [9]



Figure 1-4: L'effet capteur solaire thermique.

#### **I.8.2.** Les types de capteur solaire thermique:

#### 8.2.1.Les capteurs plans vitrés:

Ce type de capteur solaire thermique utilise l'effet de serre pour capter l'énergie thermique du soleil. Ils sont généralement composés d'un châssis sous forme de coffre, d'un isolant en fond, d'un absorbeur de couleur noire en tubes de cuivre munis d'ailettes dans lequel circule le fluide caloporteur et d'une vitre. [9]

Les capteurs solaires plans vitrés sont très répandus. Ils existent sous formes de capteurs à eau et de capteurs à air.

#### a. Les capteurs solaires thermiques à eau:

Les capteurs solaires : l'eau circule dans les tubes munis d'ailettes afin d'augmenter la surface d'échange. L'utilisation de l'eau comme agent thermique est favorisée grâce à grande capacité calorifique.



Figure 1-5: Capteur plan à eau [2].

#### b. Les capteurs solaires thermiques à air

Généralement, le conduit d'air est formé par deux surfaces parallèles : le verre et l'absorbeur. Contrairement à l'eau, l'air a une faible capacité calorifique ce qui conduit à augmenter les surfaces de captation. L'air ne présente pas le risque de gel ou d'ébullition, il est abondant et gratuit. [2]



Figure 1-6: Capteur plan à air.

#### 8.2.2. Les capteurs non vitrés:

Ce type de capteur est basé sur le chauffage de complexes extérieurs, et permet la production d'eau chaude domestique seulement dans les pays chauds. Il s'agit d'un seul absorbeur en plastique pour les applications à basse température en métal à revêtement sélectif, constitué d'un réseau de tubes noirs attachés les uns aux autres.



Figure 1-7: Capteur plans sans vitrage [9]

#### 8.2.3. Les capteurs à tubes sous vide:

Les capteurs solaires "sous vide" sont composés d'une série de tubes en verre transparents.



Figure 1-8 capteur à tube sous vide. [2]

#### I.9. Les panneaux solaires hybrides PVT:

Les panneauxsolaires hybrides (PV/T) est un capteur solaire hybride (photovoltaïquethermique) permettant de convertit une partie de l'énergie solaire acquise en électricité et l'autre est habituellement convertie en chaleur. Dans ce type de composant hybride, les cellules PV fonctionnent comme des absorbeurs thermiques et sont refroidies par la circulation d'un fluide caloporteur en face arrière. [10]

#### I.9.1. Comment fonctionnée les panneaux solaires hybrides?

Le système solaire hydride PV/T convertit principalement le rayonnement solaire en électricité et en chaleur en même temps, généralement au même endroit; Cela rend la combinaison de ces systèmes particulièrement intéressante, par le processus d'extraction de la chaleur d'une cellule photovoltaïque, eau refroidie activement permettant une meilleure performance électrique (augmentation de l'efficacité totale de l'énergie produite par unité de surface); Le mètre carré de surface permet de produit plus d'électricité et de chaleur qu'une unité photovoltaïque de mètre carré et une unité capture solaire thermique installée séparément, et les systèmes combinés permettent une apparence plus uniforme sur les surfaces et des coûts d'installation plus faibles.[10]

#### I.9.2. Types Des panneaux solaires hybrides PVT:

#### I .9.2.1. Les panneaux solaires hybrides PVT plans :

Les panneaux hybrides photovoltaïques thermiques (PVTH) peuvent être classés en deux groupes, à savoir :

#### a. Capteurs solaires hybrides PVT à eau :

Les capteurs solaires hybrides PVT à eau le fluide caloporteur (l'eau) circule à l'intérieur des tuyaux en contact avec l'absorbeur et recueillent la chaleur de l'absorbeur. Si les cellules PV sont montées sur l'absorbeur, la chaleur est extraite des cellules en entrainant l'augmentation du rendement électrique. [8]



Figure 1-9: Capteur solaire hybride à eau [10]

#### b. Les capteurs solaires hybrides PVT à air :

C'est un système de circulation d'air qui est installé sous le module PV, tout en permettant le refroidissement du module, l'air se réchauffe et sera utilisé pour le préchauffage intérieur ou la ventilation [2].



Figure1-10: Capteur solaire hydride PV/T à air.

#### I .9.2.2. Les capteurs solaires hybrides PV/T à concentration:

L'augmentation de l'éclairement solaire influe positivement sur le rendement de la cellule photovoltaïque, L'une des modifications de conception est d'augmenter la performance

du capteur, en ajoutent un système de concentration sur les côtés du capteur, les réflecteurs sont de forme rectangulaire ou cylindro parabolique. Les PVT à concentration (CPVT) avec des cellules solaires à haut rendement et des réflecteurs concentrés peuvent produire un courant plus élevé avec plus de puissance thermique en raison des températures élevées atteintes.



Figure 1-11: Capteur solaire CPVT [12].

#### I.10.Concentrateur parabolique composé (CPC):

#### I. 10. 1. Définition :

Un concentrateur parabolique composé (CPC), est une construction optique conçue dans les années soixante par un Américain R. Winston, un Soviétique V. Baranov, et un Allemand M. Ploke, chacun séparément. Il est composé de deux paraboliques différents des paraboloïdes (réflecteurs) qui peuvent refléter une fraction du rayonnement solaire diffus à l'ouverture vers l'absorbeur et le rayonnement direct absorbé par l'absorbeur[11].

Lemiroir parabolique cylindrique est une partie de la moitié d'une parabole qui est légèrement exposée par le haut afin d'éviter l'effet d'ombre du CPC-PVT sur le capteur. Ainsi, l'angle formé par le sommet de la parabole est légèrement plus grand afin de déterminer le point central de réflexion depuis et depuis le bord du miroir à côté de La partie supérieure, sa valeur dépend de :

- Même taille de CRC produit : pupille de sortie, pupille d'entrée, et la hauteur.
- Diamètre de la chaudière.
- -Épaisseur d'isolation.
- Du capotage.



Figure1-12: Concentrateur paraboliquecomposé (CPC) ;(symétrique)

Les concentrateurs paraboliques composés (CPC) ne forment pas d'image du soleil. Ils sont particulièrement intéressants dans les systèmes à deux dimensions. Sous sa forme la plus simple, un CPC à absorbeur plan est composé de deux arcs de parabole symétriques.

Il existe deux types de CPC -PVT, symétrique et non symétrique. Les CPC –PVTsont conçus pour intercepter le maximum de rayonnement solaire direct et diffus au sol. Nous présenterons une application originale d'un CPC symétrique utilisé pour concentrer le solaire sur un panneau PVT. [12]



Figure1-13: Concentrateur parabolique compose.

#### I.10.2.Le CPC, pièce maîtresse du capteur :

Le Concentrateur parabolique composé de R. Winston est une construction géométrique rigoureuse, caractérisée

- Par une pupille de sortie, une pupille d'entrée, et une hauteur
- ET par un angle d'acceptation, qui lie entre eux les trois éléments ci-dessus.

Dans le domaine de l'énergie solaire, le CPC est usuellement utilisé en l'orientant directement vers le soleil," vers le haut". Dans le capteur soleil-Vapeur, le CPC est orienté "vers le bas", couplé avec un miroir parabolique. C'est ce couplage, original, qui a fait l'objet d'un brevet.

Précisons toutefois que dans le capteur « soleil-vapeur » le CPC est utilisé non pour son pouvoir de concentration, mais pour sa capacité à rediriger vers une cible donnée un rayonnement provenant sous des angles d'incidence différents

#### I.10.3. L'angle d'acceptation:

C'est le seul élément commun entre le premier et le second étage. Les caractéristiques du miroir (largeur, focale...) déterminent l'angle d'acceptation du CPC. Mais, pour un angle d'acceptation donné, on peut dessiner une multitude de seconds étages, par exemple en faisant varier la pupille de sortie, ce qui fera varier, de façon homothétique, la pupille d'entrée et la hauteur.

#### I.10.4. Coefficient de concentration géométrique :

Le taux de concentration géométrique du CPC est défini comme le rapport des largeurs de l'ouverture sur l'absorbeur.

$$c = \frac{CD}{AB} = \frac{1}{\sin \theta i}$$
(I-1)

Le concentrateur est dit idéal [13]

#### I.10.5. Géométrie de base :

Pour tracer la forme développée du CPC à absorbeur plan, on a besoin de deux paramètres, la largeur de l'absorbeur (S = AB) et l'angle  $\theta$ . On peut alors déduire l'ouverture (W = CD) la ligne focale de la parabole s'exprime par:[13]

$$w = \frac{s}{\sin \theta c}$$
 (I-2)

Ainsi que la hauteur H du CPC

$$H = S \frac{1 + \frac{1}{\sin \theta c}}{2 \tan \theta c}$$
 (I-3)

La ligne focale de la parabole s'exprime par:

$$F = \frac{s}{2}(1 + \sin\theta c)$$
 (I-4)

Si les CPC permettent d'atteindre une focalisation optimale, ils ont l'inconvénient de nécessiter une surface de miroir plus importante pour une même focalisation et un même absorbant.

Mais il est possible de réduire la surface des miroirs sans trop affecter les performances du condensateur. Tout ce que nous avons à faire est de supprimer le CPC supérieur. En fait, cette région n'interfère pas beaucoup avec le rayonnement car le rayonnement incident y est presque parallèle au miroir.


Figure 1-14: Concentrateur parabolique composé tronqué.

# Chapitre I

# Chapitre II:

# Généralités sur la Transfer de chaleur

## **II.1. Introduction:**

L'une des méthodes les plus connues d'échange d'énergie est le transfert de chaleur, alors lorsqu'il y a une différence de température entre deux points du système à des températures différentes, on a tendance à compenser les températures. Le transfert de chaleur dépend des principes de base de la thermodynamique, mais il ne suffit pas d'expliquer comment la chaleur est transférée ou de prédire la vitesse à laquelle elle est transportée, de sorte que le transfert de chaleur est régi par d'autres pois, qui sont très importants dans différentes branches de l'industrie.

Les problèmes de transfert de chaleur indiquent qu'il existe deux formes :

**1-**Recherche de la façon la plus efficace de transférer une certaine quantité de chaleur entre deux systèmes par unité de temps.

2-Recherche sur la façon de réduire les pertes de chaleur à la surface.

La solution à ces problèmes est souvent compliquée parce que le transfert de chaleur peut résulter de trois mécanismes de diffusion :

- ➢ La conduction
- ➤ La convection
- ➢ Le rayonnement

Cependant, le développement de l'un ou l'autre de ces mécanismes nécessite une différence de température qui agit comme une équipe d'échange de chaleur potentielle.

## **II.2. Définitions:**

Le transfert thermique: est la science qui tente à prédire le transfert d'énergie entre les molécules ou les particules de la matière à différentes températures. Le but est d'expliquer la manière et de prédire le taux d'échange de la chaleur sous certaines conditions spécifiques. Il

complémente les deux premiers principes de la thermodynamique par des lois expérimentales additionnels afin d'établir les proportions de transfert d'énergie [14]

#### \* Théorie du transfert de chaleur :

Afin d'analyser les performances des systèmes solaires, il faut bien arranger les divers modes du transfert de chaleur. Il existe trois modes de transfert de chaleur : la convection, la conduction et le rayonnement, comme le montre la figure (II-1) :



Figure 2-1:Les 3 modes de transfert thermique [11]

#### **II.3.** Transfert de chaleur par conduction:

La conduction est le transfert de chaleur à l'intérieur d'un milieu mais sans déplacement des matériaux, sous l'influence d'une différence de température, et la propagation de la chaleur à l'intérieur d'un objet se produit selon deux mécanismes différents :

- Transmission par électrons libres,
- Transport par vibrations atomiques (ou molécule), [15].

La théorie de la conduction repose sur la loi de Fourier, définie par :

#### Loi de Fourier:

Ce transfert de chaleur spontané d'une région de température élevée vers une région de température plus basse obéit à la loi dite de Fourier (établie mathématiquement par Jean-Baptiste Biot en 1804 puis expérimentalement par Fourier en 1822).

La densité de flux de chaleur est proportionnelle au gradient de température. [16]

$$Q = -\lambda A \frac{dT}{dx} \tag{II-1}$$

Où :

<b>Q:</b> Le flux de chaleur transmis par conduction.	[W]		
$\lambda$ :Conductivité thermique du matériau.	[W/m.K]		
A: La surface de la section perpendiculaire.	[m²]		

**dT/dx:** La variation de la température en ce qui concerne la longueur du chemin de transfert de chaleur.

Pour une plaque plane simple d'épaisseur L, l'équation devient :

$$Q = -\lambda A \frac{(T2-T1)}{L} \tag{II-2}$$

Et pour plaque composite composer de deux matériaux :

$$Q = -\lambda A \frac{(T2-T1)}{\frac{L1}{1} + \frac{L2}{12}}$$
(II-3)



Figure 2-2: Schéma de transfert de chaleur par conduction

# **II.4.** Transfert de chaleur par convection:

C'est une façon de transférer la chaleur, et c'est une façon de se déplacer entre l'acier et le liquide, et c'est une façon de transférer l'énergie par déplacement du liquide. [16]



Figure 2-3: Schéma de transfert de chaleur par convection.

La loi fondamentale de la convection est la **loi d'Isaac Newton** (1643-1727), traduite par la relation expérimentale du flux de chaleur échangé par convection entre un fluide et une paroi solide, donnée par la relation suivante:

$$Q=h.S (T_p - T_{\infty}) \qquad [W] \tag{II-4}$$

Avec :

<b>Q:</b> Flux de chaleur transmis par convection.	[W]
h:Coefficient de transfert de chaleur par convection.	$[W.m^{-2}. \circ C^{-1}]$
<b>T</b> <sub>p</sub> : Température de surface du solide.	[°C]
$\mathbf{T}_{\infty}$ :Température du fluide loin de la surface du solide.	[°C]
S :Surface de contact solide fluide.	[m <sup>2</sup> ]

Il existe typetrois types des convections thermiques:

#### **II. 4.1. La convection naturelle:**

Le mouvement du fluide est dû au phénomène de transmission de chaleur lui-même. Les gradients de température créent des gradients de masses volumiques et par conséquent un mouvement du fluide. [17]



Figure 2-4: Exemples illustrant la convection naturelle. [18]

#### II.4.2.La convection forcée:

C'est l'effet sur le mouvement d'un fluide par une action extérieure utilisant des moyens mécaniques tels que (pompes, ventilateur, jet impact, etc. ...)

#### **II.4.3.** La convection mixte:

Dans ce cas de convection, il existe deux types de convection coexiste dans le même système, (la convection naturelle et la convection forcée).

#### **II.5.** Transfert de chaleur par rayonnement:

Le rayonnement: est un transfert thermique qui ne nécessite pas de milieu matériel par opposition aux deux autres. En effet, ce type de transfert thermique résulte de l'émission des rayons électromagnétiques transporte l'énergie. Ils sont émis par un corps chaud, tel que le soleil, et échauffent le corps qui les reçois [14]

La loi fondamentale régissant l'échange de chaleur par rayonnement est la loi du Boltzmann:

$$Q = \varepsilon_p \sigma A (T_p^4 - T_f^4) \tag{II-5}$$

#### Avec :

**Q** : Energie de chaleur transmis par rayonnement.

ε : Facteur d'émissivité du corps.

 $\sigma$ : Constante de Stephan.

T : Température du corps en kelvin.



Figure 2-5 : Schéma de transfert de chaleur par rayonnement

# **II.6.** Comparaison des modes de transfert:

Table 2.1: Comparaiso	on entre les modes	de transfert o	de chaleur.[18]
-----------------------	--------------------	----------------	-----------------

Mode de transfert	Matière de transfert	Milieu de transfert	Transport de matière
Conduction	Solides et fluides	Au sein d'un seul corps ou par contact entre deux corps	Non
Convection	Fluides	Au sein d'un seul fluide ou au contact entre un solide et un fluide	Oui
Rayonnement	Solides, fluides et vide	À partir d'un corps rayonnant vers un autre	Non

#### **II.7.** Nombreadimensionnel:

Le transfert de chaleur convectif est décrit à l'aide des corrélations entre certains paramètres sans dimension. Ces paramètres sont dits les nombres adimensionnels. Ces paramètres sont utilisés pour déterminer la valeur du coefficient du transfert de chaleur convective h, donnée par :

$$\Box = \frac{\lambda * N u}{L_c} \tag{II-6}$$

**h**:Coefficient de transfert thermique ou coefficient de convection.  $[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$ ,

λ:Conductivité thermique du fluide. [W·m<sup>-1</sup>·K<sup>-1</sup>].

La longueur caractéristique L<sub>C</sub> dépend de la géométrie de la surface d'échange. Par exemple:

- Dans le cas d'une plaque plane, on prendra l'abscisse X à compter du bord d'attaque de la plaque.
- Dans le cas d'un écoulement dans une conduite, on prendra le diamètre intérieur D de la canalisation, ou le diamètre hydraulique si la conduite n'a pas une section circulaire. [18]

#### **II.7.1.** Nombre de Nusselt:

Le nombre de Nusselt a le nom de l'ingénieur allemand Wilhelm Nusselt. C'est un nombre sans dimensions est utilisé pour décrire la relation entre l'énergie thermique transférée au liquide et l'énergie thermique réalisée à l'intérieur du liquide, [11].

Donné par la relation:

$$Nu = \frac{hl_c}{\Box}$$
(II-6)

#### **Evaluation du nombre de Nusselt:**

La détermination du nombre de Nusselt est définie selon la nature de la convection :[19]

#### Convection libre :

Pour ce type de convection, le nombre de Nusselt est donné en fonction des nombres adimensionnels, Grashof et Prandtl par la relation suivante :

$$Nu = k(GrPr)^n \tag{II-7}$$

K et n: sont des constantes

#### Convection forcée:

Dans ce mode de convection le nombre de Nusselt est donné en fonction de deux nombres adimensionnels, le nombre de Reynolds et le nombre de Prandtl par la relation suivante :

$$Nu = aRe^n Pr^m \tag{II-8}$$

(a, n, et m): sont des constantes qui peuvent être déterminées en fonction du régime de l'écoulement (laminaire ou turbulent).

#### **II.7.2.Nombre de Reynolds:**

Le nombre de Reynolds (Re): est un nombre sans dimension utilisé en mécanique des fluides. Il a été mis en évidence en 1883 par Osborne Reynolds. Il caractérise un écoulement, en particulier la nature de son régime (laminaire, transitoire, turbulent).

Le nombre de Reynolds représente le rapport entre les forces d'inertie et les forces visqueuses. Ce nombre sans dimension est définit de la manière suivante: [18]

$$Re = \frac{VL_c}{\vartheta}$$
(II-9)

Avec :

- V: Vitesse caractéristique du fluide
- L<sub>c</sub>: Dimension caractéristique de l'écoulement, (longueur de la plaque, diamètre intérieur du tube, diamètre extérieur du cylindre, etc.).
- $\vartheta = \frac{\mu}{\rho}$ : Viscosité cinématique du fluide.
- **p**: Masse volumique du fluide.
- **µ:**Viscosité dynamique du fluide.

Ce nombre joue un rôle fondamental dans la caractérisation de l'écoulement:

- ✓ Si Re<2400 on est en régime laminaire.
- ✓ Pour des vitesses plus élevées Re>>2400, le régime est turbulent. [19]

#### **II.7.3.** Nombre de Prandtl :

C'est un nombre adimensionnel représentant le rapport de la viscosité cinématique à la diffusion thermique ; il distingue les propriétés physiques d'un liquide.

Il est défini comme suit :

$$Pr = \frac{\mu c_p}{\Box} \qquad \text{et} \qquad \mu = \nu^* \rho \qquad (\text{II-10})$$

- v: Viscosité cinématique.
- **ρ**: Masse volumique.
- *α*: Diffusivité thermique.
- **µ**: Viscosité dynamique.
- **Cp**: Chaleur massique.
- $\lambda$ : Conductivité thermique.

#### **II.7.4.** Le nombre de Grashof:

C'est une dimension pour la convection libre, ce nombre est défini comme le rapport entre la force de gravité et la force d'inertie. [19]

Le nombre de Grashof est défini comme :

$$Gr = \frac{\rho^2 g B(\Delta T) L^3}{\mu^2}$$
(II-11)  
Et:  $\Delta T = (Tc - Ta)$ 

Avec:

- g: Gravitation.
- **B:**Coefficient de dilatationthermique.
- **AT:** Différence de température.
- L: Longueur caractéristique.
- **ρ**: Masse volumiquedu fluide.
- **µ:**Viscosité dynamique.

# **II.8.** Conclusion:

Le transfert de chaleur décrit l'échange d'énergie thermique entre les systèmes Physique, par température, par dissipation thermique. Ce chapitre nous a permis de passer en revue les généralités du transfert de chaleur et les différents paramètres de celui-ci Interférer avec ce phénomène.



# **Chapitre III:**

# Modèle mathématique du CPC\_PVT

# **III** .1. Introduction :

Le but de l'étude thermique est de trouver un modèle théorique, qui tient compte de certains phénomènes physiques reflétés les performancesthermiques et électriques du CPC\_PVT.

Dans ce chapitre, nous présentons une étude théorique de la performance du CPC\_PVT, pour nous aider à simuler son comportementsous l'influence de la concentration solaire, de sorte que nous avons d'abord besoin d'identifier des équations mathématiques qui reflètent les phénomènes thermiques qui ont été affectés par des différentes couches du système.

Le dispositif que nous allons étudier est représenté sur la **figure (3-1)**, et il s'agit d'un dispositif constitué d'un panneau photovoltaïque équipé avec d'un concentrateur parabolique composé, CPC.



Figure 3- 1: Le système CPC-PVTutilisé dans l'étude.

# **III.2. Model physique:**



Figure3-2: Le modèle du CPC\_PVT étudie dans le présent travail.

## III.3. Hypothèses simplificatrices:

Quelques hypothèses simplificatrices ont été utilisées afin de pouvoir décrire le comportement du système étudié:

- > Les Propriétés thermophysiques sont indépendantes de la température.
- > La température de l'eau utilisée pour le refroidissement est supposée constante.
- > Le modèle est supposé unidimensionnel et instationnaire.

# III.4.Bilan thermique de PVT:

La production d'énergie électrique et thermique par le système CPC\_PVT dépend des plusieurs paramètres, tels que: le rayonnement solaire, la vitesse du vent et la température ambiante.

Le but de l'étude, est de prévoir les températures dans chaque couche du CPC\_PVT. Pour cela on utilise le principe de conservation de l'énergie pour chaque élément du système, qui peut être présenté par une équation de bilan d'énergie suivante :

# *La variation de l'énergie interne = l'énergie reçue – l'énergie perdue*

#### III.4.1. Bilan de la couche du verre:

#### **\*** Le bilan de l'énergie au niveau du verre, (Figure 3-3):

$$(\mathbf{m} * \mathbf{cp})_{\nu} * (\frac{dT}{dt})_{\nu} = Q_{\nu}^{abs} + Q_{\nu-amb}^{(con\nu)} + Q_{\nu-ciel}^{rad} - Q_{\nu-c}^{cond}$$
(III-1)

Les équations des différents flux sont données comme suit :

1. Le flux absorbé par le verre :

$$Q_{v}^{abs} = A * \alpha_{v} * I_{rad} * C \tag{II_2}$$

2. Le flux de chaleur échangé par convection entre le verre et l'air ambiant est donné par :

$$Q_{\nu-amb}^{(con\nu)} = A * \square_{\nu}^{con\nu} * (T_{amb} - T_{\nu})$$
(III-3)



Figure3-3: L'échange thermique au niveau du verre du PV.

T<sub>v</sub>: Température du verre du PV.

T<sub>amb</sub>: Température ambiante.

 $h_v^{conv}$ :Coefficient de transfert convectif entre le verre et l'air ambiant, donné par la formule:

$$\Box_{v}^{conv} = (5.7 + 3.8) * Vvent$$

3. Le flux de chaleur échangé par conduction entre le verre et la cellule:

$$Q_{\nu-c}^{(cond)} = A * \square_{\nu}^{cond} * (T_c - T_{\nu})$$
(III-4)

 $h_{v}^{cond}$ : Coefficient de transfert par conduction entre la cellule et le verre, donné par:

$$\Box_v^{cond} = \frac{1}{\frac{\lambda_v}{e_v} + \frac{\lambda_c}{e_c}}$$

4. Le flux de chaleur échangé par rayonnement entre le verre et le ciel:

$$Q_{(v-_{ciel})}^{rad} = A * \square_{rad} * (T_{ciel} - T_v)$$
(III-5)

Le coefficient d'échange thermique par radiation entre le verre et le ciel,  $(h_{rad})$ , est après la simplification, est donné par:

$$\Box_{rad} = \sigma * \varepsilon_{v} * (T_{ciel}^{2} + T_{v}^{2}) * (T_{ciel} + T_{v})$$

**σ**: Constante de Stephan Boltzmann,  $\sigma = 5.67 \times 10^{-8}$ . [W.m<sup>-2</sup>. K<sup>-4</sup>] ε<sub>v</sub>: Émissivité du verre.

La température du ciel est donnée par la relation de Swinbank:

$$T_{ciel} = 0.0552 * (T_{amb})^{1.5}$$

On remplace les équations (III-2), (III-3), (III-4) et (III-5) dans (III-1), on trouve:

$$(\mathbf{m} * \mathbf{cp})_{v} * \left(\frac{dT}{dt}\right)_{v} = A * \left(\alpha_{v} * I_{rad} - \Box_{v}^{conv} * (T_{amb} - T_{v}) - \Box_{rad} * (T_{ceil} - T_{v}) - \Box_{v}^{cond} * (T_{c} - T_{v})\right)$$
$$(III_6)$$

Finalement, pour des raisons numériques on admet la forme suivante:

$$\left(\frac{dT}{dt}\right)_{v} = \frac{1}{(e*\rho*cp)_{v}}*\left(\alpha_{v}*I_{rad}*C - \Box_{v}^{conv}*\left(T_{v} - T_{amb}\right) - \Box_{rad}*\left(T_{v} - T_{ciel}\right) - \Box_{v}^{cond}*\left(T_{c} - T_{v}\right)\right)$$
(III-7)

#### III.4.2. Bilan de la cellule :



Figure 3-4: L'échange thermique au niveau de la cellule.

#### Le bilan d'énergie au niveau de la cellule; est donné comme suit, voir figure (3-4)

$$(\mathbf{m} * \mathbf{cp})_{c} * (\frac{dT}{dt})_{c} = Q_{c}^{abs} + Q_{v}^{cond} - Q_{c-t}^{cond} - Q^{\acute{e}l\acute{e}c}$$
(III-8)

L'énergie solaire absorbée par la cellule du PV est donnée par :

$$Q_c^{abs} = A * \alpha_c * I^{rad} * C * \tau_v \tag{II-9}$$

A: Surface du panneau,

I<sup>rad</sup>: Rayonnement solaire globale,

 $\tau_v$ : Coefficient de transmission de la vitre,

 $\alpha_{c}$ : Coefficient d'absorption de la cellule,

$$Q_{\nu_{-c}}^{cond} = A * \square_{\nu_{-c}}^{cond} * (T_c - T_{\nu})$$
(III-10)  
Et:

$$Q_{c-t}^{cond} = A * \square_c^{cond} * (T_t - T_c)$$
(III-11)

**Avec:** Le coefficient d'échange thermique par conduction entre la cellule et le verre, est donné par la relation suivante :

$$\Box_{v\_c}^{cond} = \frac{1}{\frac{\lambda_v}{e_v} + \frac{\lambda_c}{e_c}}$$

L'énergie électrique produite par la cellule du PV, est donnée par l'équation suivante:

$$Q_c^{\acute{e}l\acute{e}c} = A * I_{rad} * C * \tau_v * \eta_{ref} * PAC * \left(1 - \beta * \left(T_c - T_{ref}\right)\right) \quad (\text{III-12})$$

Avec:

 $\eta_{ref}$ : Rendement de référence.

β: Coefficient de température,

PAC: Taux de compacité du module PV.

T<sub>ref</sub>: Température de référence (25°C.)

On remplacedans l'équation (III- 8), on trouve:

$$(\mathbf{m} * \mathbf{cp})_{c} * \left(\frac{dT}{dt}\right)_{c} = A * \alpha_{c} * I_{c}^{rad} * C * \tau_{c} + A * \Box_{v}^{cond} * (T_{c} - T_{v})$$
$$-A * \Box_{c}^{cond} * (T_{ted} - T_{c}) - A * I_{rad} * C * \tau_{v} * \eta_{ref} * PAC * (1 - \beta * (T_{c} - T_{ref})) \quad (\text{III-13})$$

De même, onadmet la forme suivante:

$$(\frac{dT}{dt})_{c} = \frac{1}{(\rho * e * cp)_{c}} * \left[ \left( \alpha_{c} * I_{c}^{rad} * C * \tau_{c} \right) + \left( \Box_{v}^{cond} * (T_{v} - T_{c}) \right) - \left( \Box_{c}^{cond} * (T_{t} - T_{c}) \right) - \left( \left( \frac{I_{rad} * \tau_{v}}{\alpha_{c}} \right) * \eta_{ref} * e^{\left( \beta * (T_{c} - T_{ref}) \right)} \right) \right]$$

$$(\text{III-15})$$

# III.4.3. Bilan pour la couche du tedlar :



Figure 3-5: L'échange thermique au niveau du tedlar.

# **\*** Le bilan thermique au niveau du tedlar, figure (3-5) :

$$(\mathbf{m} * \mathbf{cp})_t * (\frac{dT}{dt})_t = Q_{c\_t}^{cond} - Q_{t\_p}^{cond}$$
(III-16)

Les formules des différentsflux sont données comme suit :

$$Q_{c_t}^{cond} = A * \square_c^{cond} * (T_c - T_t)$$
(III-17)

Flux de chaleur échangé par conduction entre la cellule et la couche du tedlar est donné par :

$$Q_{t_p}^{cond} = A * \square_t^{cond} * \left(T_t - T_p\right) \tag{III-18}$$

**Avec:**le coefficient d'échange thermique par conduction entre la cellule du PV et la couche du tedlar peut être calculé par :

$$\Box_t^{cond} = \frac{1}{\frac{\lambda_t}{e_t} + \frac{\lambda_c}{e_c}}$$

On remplace dans (III-16):

$$\left(\frac{dT}{dt}\right)_{t} = \frac{1}{(\rho * e * cp)_{t}} * \left[\left(\alpha_{t} * I^{rad} * C\right) + \left(\Box_{c}^{cond} * (T_{c} - T_{t})\right) - \left(\Box_{t}^{cond} * \left(T_{t} - T_{p}\right)\right)\right] \quad (\text{III-19})$$

#### III.4.4. Bilan de la plaque:



Figure 3-6: L'échange thermique au niveau de la plaque.

### ✤ Le bilan d'énergie au niveau de la plaque est donné comme suit, figure (3-6) :

$$(\mathbf{m} * \mathbf{cp})_p * \left(\frac{dT}{dt}\right)_p = Q_{t-p}^{conv} + Q_{p-r}^{conv}$$
(III-20)

• Définitions des différents flux :

$$Q_{t\_p}^{cond} = A * \Box_t^{cond} * \left(T_t - T_p\right)$$
(III-21)

Avec:

$$\Box_p^{cond} = \frac{1}{\frac{\lambda_t}{e_t} + \frac{\lambda_p}{e_p}}$$

#### \* Le coefficient du transfert convectif dans le cas de refroidissement du CPC\_PVT

Pour déterminer le coefficient du transfert convectif entre la plaque et le milieu intérieur, on peut distinguer deux types de convection : la convection naturelle et la convection forcée. L'utilisation des nombres adimensionnels et les formules décrit dans la littérature permettre l'évaluation de ces derniers. Au début, on doit définir les propriétés

thermo- physiques du fluide, tel que:  $\lambda_f$ , Cp,  $\mu$ , ... à partir des tableaux donnés dans plusieurs références.

Propriétés de l'eau à saturation					Р	ropriété	s de l'air	à 1 atu	n				
θ	ρ	Cp	λ	10 <sup>4</sup> . μ	10 <sup>7</sup> . α	Pr	Ð	ρ	Cp	λ	10 <sup>5</sup> . μ	10 <sup>5</sup> . α	Pr
(°C)	(kg/m <sup>3</sup> )	(J/kg.°C)	(W/m.°C)	(Pa.s)	(m <sup>2</sup> /s)		(°C)	(kg/m <sup>3</sup> )	(J/kg.°C)	(W/m.°C)	(Pa.s)	(m <sup>2</sup> /s)	
0	1002	4218	0,552	17,90	1,31	13,06	0	1,292	1006	0,0242	1,72	1,86	0,72
20	1001	4182	0,597	10,10	1,43	7,02	20	1,204	1006	0,0257	1,81	2,12	0,71
40	995	4178	0,628	6,55	1,51	4,34	40	1,127	1007	0,0272	1,90	2,40	0,70
60	985	4184	0,651	4,71	1,55	3,02	60	1,059	1008	0,0287	1,99	2,69	0,70
80	974	4196	0,668	3,55	1,64	2,22	80	0,999	1010	0,0302	2,09	3,00	0,70
100	960	4216	0,680	2,82	1,68	1,74	100	0,946	1012	0,0318	2,18	3,32	0,69
120	945	4250	0,685	2,33	1,71	1,45	120	0,898	1014	0,0333	2,27	3,66	0,69
140	928	4283	0,684	1,99	1,72	1,24	140	0,854	1016	0,0345	2,34	3,98	0,69
160	910	4342	0,680	1,73	1,73	1,10	160	0,815	1019	0,0359	2,42	4,32	0,69
180	889	4417	0,675	1,54	1,72	1,00	180	0,779	1022	0,0372	2,50	4,67	0,69
200	867	4505	0,665	1,39	1,71	0,94	200	0,746	1025	0,0386	2,57	5,05	0,68
220	842	4610	0,652	1,26	1,68	0,89	220	0,700	1028	0,0399	2,64	5,43	0,68
240	816	4756	0,635	1,17	1,64	0,88	240	0,688	1032	0,0412	2,72	5,80	0,68
260	786	4949	0,611	1,08	1,58	0,87	260	0,662	1036	0,0425	2,79	6,20	0,68
280	753	5208	0,580	1,02	1,48	0,91	280	0,638	1040	0,0437	2,86	6,59	0,68
300	714	5728	0,540	0,96	1,32	1,02	300	0,616	1045	0,0450	2,93	6,99	0,68

Table 3-2: Propriétés thermophysiques de l'eau et de l'air.[4]

Tableau des données utilisées pour la présente simulation :

Table 3\_3: Propriétés physiques

	λ	Ср	μ	ρ
	(W/m.°C)	(J/Kg. °C)	(pa.s)	$(kg/m^3)$
eau	0.612	4180	1.003*10 <sup>-3</sup>	996.4
air	0.0264	1006.5	1.85*10 <sup>-5</sup>	1.18

La convection entre la plaque et le milieu du réservoir, est la somme de la convection naturelle avec l'air du réservoir avant le démarrage du système de refroidissement et la convection forcée avec l'eau du jet, (après le démarrage du système de refroidissement), donc on peut écrire:

$$Q_{p-r}^{conv} = Q_a^{conv(n)} + Q_e^{conv(f)}$$
(III-23)  
Et:

 $\Box_f^{conv} = \Box_a^{conv(n)} + \Box_e^{conv(f)}$ 

#### Cas de la convection naturelle:

$$Q_a^{conv(n)} = A * \square_a^{conv(n)} * (T_p - T_a)$$
(III-24)

Définition du coefficient du transfert de chaleur pour le cas de la convection naturelle:

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

$$\mathbf{Nu} = \mathbf{f} \left( \mathbf{Gr}, \mathbf{Pr} \right)$$

Définie par : [27]

$$Nu = 0.56 * [Gr * Pr * \cos(90 - \theta)]^{\frac{1}{4}}$$
(III-25)

Et:

$$Nu = \frac{L * \Box_a^{conv(n)}}{\lambda_a}$$
(III-26)

 $\lambda_a$ : Conductivité thermique du fluide, dans ce cas c'est l'air.

 $h_a^{conv(n)}$ : Coefficient de convection, cas convection naturelle.

L: Longueur de plaque.

**\theta:** Angle d'inclinaison du capteur ( $\theta$ =27.8°)

Les formules des nombres de Gr et Pr sont données par:

#### Nombre de Grashoff:

$$Gr = \frac{\rho^2 * g * \beta * L^3 * (T_p - T_a)}{\mu^2}$$
(III-27)

Avec :

- $\rho$ : Masse volumique du fluide.
- g : Accélération de la pesanteur.
- $\beta$ : Coefficient de dilatation volumique du fluide à pression constante.

En suite calculer le nombre de Prandtl, est calculé comme suit :

$$p_r = \frac{\mu * C_p}{\lambda_a} \tag{III-28}$$

Avec:

μ: Viscosité dynamique du fluide,

**λ:** Conductivité thermique du fluide,

C<sub>p</sub> : Chaleur spécifique du fluide.

Enfin, on déduit le coefficient du transfert pour le cas de la convection naturelle:

$$h_a^{conv(n)} = (Nu * \lambda_a)/L$$

Pour le cas de la convection forcée :

$$Q_e^{conv(f)} = A * \Box_e^{conv(f)} * (T_p - T_e)$$
(III-29)

#### Calcul du coefficient de la convection forcée:

L'application de l'analyse adimensionnelle montre que la relation liante le flux de chaleur transféré par convection aux variables dont il dépend peut-être recherchée sous forme d'une relation entre trois éléments suivant :

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

Pour notre cas il est donné par [27] :

$$Nu_e = 0.5 * G * k * Pr^{0.42} * Re^{2/3}$$
(III-30)

$$Nu_e = \frac{L*\square_e^{conv(f)}}{\lambda_e}$$
(III-31)

 $\lambda_e$ : Conductivité thermique de l'eau.

 $h_e^{conv}$ : Coefficient de la convection de l'eau.

**L** : Longueur de plaque.

On utilise les formules proposées par Martin. [28]:

$$K = \left\{ 1 + \left(\frac{(Z/d)\sqrt{f}}{0.6}\right)^6 \right\}^{-0.05}$$
(III-32)

Et :

$$G = 2\sqrt{f} * \frac{1 - 2.2 * \sqrt{f}}{1 + 0.2(Z/d^{-6}) * \sqrt{f}}$$
(III-33)

Avec:

Et

s: Diamètre du jet; (d=1.05 mm).

**d:** Distance entre deux jet;(s=125 mm).

**z:**Distance entre le jet et la plaque; (z=25 mm).

 $f = \frac{\pi}{4} \left(\frac{d}{s}\right)^2$ 

Cette formule est valable pour les conditions suivantes:

 $(2000 < \text{Re}_{eau} < 10^{5})$  ET (2 > z/d > 12) et (4.3 < s/d < 14).

Pour déterminer le nombre de Nusselt il faut savoir le régime d'écoulement du fluide donc on peut utiliser la formule de Reynolds:

$$Re = \frac{V_e}{v} * L \tag{III-34}$$

Avec:

**Ve** : Vitesse du fluide donnée par:  $V_e = \frac{m}{A}$ ; et

**v:** Viscosité cinématique du fluide est :  $v = \mu / \rho$ ,

Donc on aura, l'équation suivante:

$$(\frac{dT}{dt})_p = \frac{1}{(\rho * e * cp)_p} * \left[ \left( \Box_t^{cond} * \left( T_t - T_p \right) \right) + \left( \left[ \Box_e^{conv(f)} * \left( T_p - T_e \right) \right] + \left[ \Box_a^{conv(n)} * \left( T_p - T_a \right) \right] - \left( \Box^{conv} * \left( T_r - T_{amb} \right) \right) \right) \right]$$

$$(\text{III- 36})$$

La formule du rendement électrique du PV est donnée par :

$$\eta = \eta_{ref} * \left(1 - \beta * \left(T_c - T_{ref}\right)\right) \tag{III-37}$$

Toutes les données utilisées dans la simulation des équations mathématiques sont présentées dans le tableau (4-1), annexe (1).

La résolution du système des équations obtenues est effectuée par la méthode de **Runge-Kutta** d'ordre 4, sous l'environnement **Matlab**.

#### III.5. Méthodes du Range-Kutta:

Les méthodes Runge-Kutta sont considérées comme l'une des méthodes les plus précises pour résoudre des équations différentielles, elles permettent d'obtenir des résultats de haute précision avec le moindre effort, car il n'est pas nécessaire de calculer les dérivées, mais plutôt de trouver des valeurs pour la fonction f (x, y) sur un domaine temporel donné. Il existe plusieurs formules différentes pour la méthode Runge-Kutta, et la quatrième formule est la plus utilisées et courantes, car elle donne des résultats précis et faciles à utiliser, et sa dérivation dépend de la méthode d'Euler.

La méthode de RK4 est donnée par la formule suivant :

 $Y_{n+1}=y_n+h/6[k_1+2k_2+2k_3+k_4]$ 

Avec:

$$K_{1}=f(x_{n}, y_{n})$$
  

$$K_{2}=f(x_{n}+h/2, y_{n}+h/2k_{1})$$
  

$$K_{3}=f(x_{n}+h/2, y_{n}+h/2K_{2})$$
  

$$K_{4}=f(x_{n}+h, y_{n}+hk_{3})$$

#### III.6. Résolution numérique du système:

Afin de résoudre ce système d'équation numériquement, nous avons développé un programme en **MATLAB**, ce programme intègre les équations issues des bilans thermique au niveau de chaque couche du CPC\_PVT, (le verre, la cellule, le tedlar et la plaque). La résolution du système d'équation était faite en utilisant une méthode itérative de Range Kutta d'ordre 4. Le programme établi a permis de simuler les inconnues pour chaque instant et pour chaque composant du CPC\_PVT.

Dans un premier temps, les températures initiales ont été égaux dans tous les couches du CPC\_PVT afin de calculer les coefficients de transfert de chaleur et qui peut être utilisé pour estimer les températures des éléments divers du système à étudier, citons:  $T_v$ ,  $T_c$ ,  $T_t$  et  $T_p$ . Les valeurs obtenues seront réinsérées pour calculer de nouvelles températures. Si toutes les nouvelles valeurs sont supérieures à 0,001 par rapport à leur température imposée, le processus est répété jusqu'à ce que la solution convergée.

L'organigramme du programme est présenté dans la partie suivante:



#### III .7. L'organigramme du system d'équations

Figure 3-7 : L'organigramme pour résoudre les équations du bilan thermique



# **Chapitre: IV**

# **Résultats et discussion**

## **IV. 1. Introduction**

Les panneaux photovoltaïques en silicium ont le potentiel de convertir seulement une petite partie de la lumière solaire qu'ils absorbent en énergie électrique, tandis que la partie restante du rayonnement se transforme en chaleur.

À mesure que l'efficacité des panneaux solaires diminue à chaque augmentation de température, nous avons donc essayé un système de refroidissement, qu'on a déjà expliqué dans le chapitre précédent. Dans ce chapitre on va exposer les résultats issus de la simulation, ces résultats concernent essentiellement la variation des différentes températures au cours du temps dans les différentes couches, la puissance électrique et le rendement du panneau photovoltaïque.

Tous les graphes présentés dans ce chapitre sont les résultats d'une simulation réalisée par un programme sous l'environnement Matlab.

#### IV. 2. Résultats et discussion:

Nous avons choisi une journée ensoleillée, « le 22 juillet », pour tester le CPC\_PVT, et le système de refroidissement choisi dans ce cas.

#### IV. 2.1. Variation du rayonnement solaire :

Le rayonnement solaire est le facteur le plus important affectant le fonctionnement du système dans cette étude. Les valeurs ont été prises de la ville d'Adrar, qui est située dans le sud-ouest de l'Algérie, pour la journée du 22/07/2021.La figure (4-1) ci-dessous le montre:



Figure 4-1: Evolution du rayonnement solaire pendant la journée du 21/07

Nous remarquons sur la figure (4-1) que la courbe des changements de l'intensité du rayonnement solaire incident est en croissance de 6h (heure du lever du soleil) jusqu'à environ 12h. Vers de 13h, nous enregistrons une diminution continue jusqu'à 19h:30. (Presque heure du coucher du soleil).

#### IV. 2.2. La variation de la température ambiante et du ciel:

La figure (4-2) représente la variation de la température ambiante en fonction du temps. Vers 6h du matin on a enregistré environ 26°C, cependant elle dépasse la valeur de 42°C, vers midi, on peut constater aussi que la valeur maximale de la température ambiante pour cette période est enregistrée vers 15h :30 min, avec une valeur de 44,6°C.

Sur la figure(4 -3), nous avons présenté la température du ciel, à l'aide de la formule donnée par Swinbank, il est clair que la température du ciel et la température ambiante ont la même allure avec des différentes valeurs, par exemple on peut constater un maximum de 39°C pour la température du ciel et 44,6°C comme valeur maximale pour la température ambiante.



Figure 4-2-: Variation de la température de ciel pour la journée du 21/07.



Figure 4-3: Variation de la température ambiante pour la journée du 21/07

Après cette présentation des données météorologiques pour la journée du 21/07, nous avons organisé la partie suivante comme suit : on a d'abord commencé par le cas de base, c'est-à-dire un PVT simple est sans refroidissement, dans ce cas le facteur géométrique de concentration est égal à un (C=1), ensuite, dans la deuxième partie on a choisi de modifier le facteur géométrique de concentration et sans déclenchement de système de refroidissement, dans lequel on cherche à évaluer l'effet de la concentration solaire sur les performances du PV, et finalement dans la dernière partie de cette simulation on a fixé la valeur du facteur géométrique de concentration et on cherche l'effet du refroidissement sur les performances du CPC-PVT.

## IV. 3. Partie I :

#### Pas de refroidissement, pas de concentration solaire (C=1):

Avant le fonctionnement du système de refroidissement et avec un facteur de concentration solaire (C=1), nous testons les performances du panneau PV.

#### IV. 3.1. Evolution des températures des différentes couches du PVT:

La figure (4-4) permet d'observer l'évolution temporelle de la température des différentes couches du panneau photovoltaïque thermique (PVT), où l'on constate une grande convergence dans l'évolution de leur température.

Il est clair que la température du verre est légèrement inférieure à la température des autres couches, un tel résultat est logique, puisque le verre est exposé directement aux conditions extérieures, (température ambiante, vitesse du vent etc...).

Cependant, la température de la cellule est constatée comme valeur la plus élevée est estimée à 89,18°C, alors que la température ambiante était seulement à 43,26°C. Ces valeurs ont été prises dans l'heure en 13h27.

Nous constatons aussi que la température théorique de la plaque est quasiment proche à celle des cellules, ce qui en réalité différente, puisqu'il est très difficile de réaliser un contact parfait entre la plaque et la dernière couche du PV, qui est la couche du tedlar.





La figure 4-5 représente l'évolution de la température ambiante et de la température des cellules en fonction du temps. Nous remarquons sur la figure (4-5), une augmentation significative de la température des cellules solaires à partir de 6h du matin au lever du soleil jusqu'à ce qu'elle atteigne la valeur la plus élevée de 89,18°C à 13h27, puis est revenue pour diminuer à partir de 15h: 30 jusqu'au coucher du soleil à 20h le soir faire lever à une température de 30°C. La température ambiante se situe aux alentours de 43,3°C, où elle a légèrement augmenté par rapport à la température des cellules solaires.





#### IV. 3.3. Variation de la puissance et du rendement électrique:

Les courbes (4-6) et (4-7) représentent les performances du panneau photovoltaïque en fonction du temps lors de la journée du 21/07.

On remarque sur la figure (4-6), que l'évolution temporelle de la puissance électrique du panneau PV prend la forme d'une cloche avec une valeur maximale de 29,19 (W) enregistré vers 13h00, on remarque également qu'elle est totalement absente durant les périodes du coucher du soleil (avant le lever du soleil et après le coucher du soleil), puisque aucun rayonnement solaire incident sur la surface du PV.



Figure 4 -6: Variation de la puissance électrique.



Figure 4-7: Variation de rendement électrique

La figure (4 -7), il représente l'évolution temporelle de rendement électrique du panneau photovoltaïque PV, où nous observons une réduction significative de l'efficacité électrique du panneau photovoltaïque autour de 13 h 30, avec la valeur la plus faible, estimée à 8,55%, en raison de la température élevée des cellules photovoltaïques. Une telle constatation nous oriente vers la recherche d'une solution pour améliorer la valeur du rendement électrique pendant cette période, on parle de la période où la température des cellules est relativement considérable.

#### IV. 4. Partie II :

#### Pas de refroidissement avec un coefficient de concentration solaire (C=1.2, 1.4, 1.8, 2.2, <u>et 2.6)</u>

Dans ce cas, nous testerons les performances du capteur CPC-PVT avec une concentration solaire différente et sans faire fonctionner le système de refroidissement, comme le montrent les figures suivantes :

La figure (4-8) montre l'évolution de la température des cellules en fonction du temps, pour différentes valeurs du coefficient de concentration solaire (C=1.0, 1.4, 1.8, 2.2 et 2.6) :



Figure 4-8:Variation de la température des cellules du CPC-PVT en fonction de la concentration solaire

Après avoir effectué la concentration solaire sur le PV, on remarque sur la figure (4-8) une augmentation de la température des cellules du PV, qui atteint plus de 130°C pour une concentration de 2.6. Dans ces conditions le PV ne fonctionne pas correctement, son rendement électrique chute jusqu'à 6% comme indique la figure (4-9); sur cette figure on remarque que le rendement électrique est en baisse continu, surtout après l'augmentation du facteur de concentration solaire, il atteint sa valeur la plus basse vers 13h 00, estimée à 6,02%.



Figure 4-9: Evolution du rendement électrique du système CPC-PVT

En raison de la diminution du rendement des cellules solaires et de leur puissance électrique, avec une augmentation de la température due à une forte concentration solaire, et
par des expériences précédentes, nous avons estimé que leur température devrait être maintenue à un niveau bas par un système de refroidissement efficace.

### IV. 5. Partie III :

#### La mise en marche du système de refroidissement:

Dans ce cas on a choisi de varier le coefficient de concentration (<u>C=1.0, 1.4, 1.8, 2.2 et</u> <u>2.6</u>), et le système de refroidissement est mise en marche avec un débit fixe de l'ordre de 3 l/min. Nous rappelons que le système de refroidissement utilisé dans cette étude et un jet impactant composé de 36 bus orientés vers le centre de chaque cellule du PV.

Comme indiqué ci-dessus, les performances du PV baissent considérablement en fonction de la température, surtout lorsque nous augmentons le coefficient de concentration solaire, et afin de réduire cette baisse de rendement, nous avons refroidi le CPC-PVT avec un système installé à la face arrière du PV, en plaçant trois tubes le long du PV, chaque tube comporte 12 bus orientée vers le centre de chaque cellule, ces dernières arrosent la face arrière du PV, pour le refroidir et réduire sa chaleur au fur et à mesure qu'il dépasse les 35°C.

Donc, dans cette partie, nous allons tester l'efficacité du système de refroidissement avec un débit fixe et une concentration variée.

La figure (4-10), représente la variation de la température des cellules après la mise en marche du système de refroidissement, et ceci pour différents facteurs de concentration solaire.



### Figure 4-10: Variation de la température des cellules après refroidissement.

À partir de la figure, on remarque que la température des cellules a été représentée selon différents coefficients de concentration, on a cinq courbes successives. Nous constatons

l'efficacité du système de refroidissement, où nous remarquons une diminution notable de la température des cellules solaires 28,79°C à 13h27, cette valeur a été enregistré lors de l'application d'une concentration solaire de C=1, cependant pour la valeur maximale de la concentration C=2,6, on a enregistrée une température de 34,1°C, alors si on reprend la figure (4-8), on constate une température de 130°C, ce qui montre l'efficacité considérable du système de refroidissement utilisé dans cette étude

Dans le même cas et pour une confirmation de l'efficacité du système de refroidissement, nous remarquons une amélioration significative du rendement électrique du système, comme indiqué sur la figure( 4-11), où nous constatons une légère diminution du rendement électrique pour les différentes valeurs du facteur de concentration. Nous rappelons que l'augmentation du facteur de concentration engendre une augmentation énorme de la température des cellules, cependant l'utilisation de ce système de refroidissement à limiter cette augmentation de température, traduit dans des valeurs d'un rendement électrique très proches au cours de la journée, c'est-à-dire pendant la variation du rayonnement solaire.



Figure 4-11: variation du rendement électrique au cours de temps

# IV. 6. Partie IV

### <u>Coefficient de concentration solaire (C=1.4)et le débit massique prend les valeurs</u> (1,3,5,7,9 l/min).

Une partie du rayonnement solaire tombant sur le CPC-PVT est convertie en énergie électrique, tandis que l'autre partie augmente la température du panneau, ce qui nécessite son refroidissement. Lorsque l'eau était utilisée pour refroidir le panneau, sa température diminuait significativement par rapport a' un panneau photovoltaïque sans refroidissement en fonction du débit d'eau. Dans cette partie, nous allons tester le rendement du CPC-PVT, où nous changeons le débit massique pour une valeur de facteur de concentration fixe, puis nous remarquons l'effet et les résultats.

La figure (4-12) montre les changements temporels de la température des cellules par rapport pour un facteur de concentration C=1,4, et un débit change de 1 jusqu'à 9 l/min. On constate, que plus le débit est élevé, plus la température de la cellule solaire est basse, la valeur la plus faible était 29.68 à 13h:52 et la valeur la plus élevée est de 31,33°C, ce qui signifiée que la variation du débit de 1 jusqu'à 9 l/min n'est pas nécessaire pour refroidir les cellules, en d'autres termes on peut dire qu'un débit de 1 l/min est suffisent pour refroidir les cellules, ce qui réduire la puissance nécessaire pour le système de refroidissement.



Figure 4-12: Variation du la température de cellule après le refroidissement.

De même, on a présenté sur la figure (4-13), la puissance électrique du PV, une amélioration considérable est remarquée lorsqu'on applique une concentration solaire avec un refroidissement avec le jet impactant, la production d'énergie atteint la valeur maximale de 56,15 w à 13h00, comme valeur maximale, et on peut constater la même remarque concerne le débit, c'est-à-dire qu'un faible (11/min), est suffisent pour atteindre cette amélioration.

Finalement, on a présenté sur la figure (4-14), la variation du rendement électrique, on peut voir clairement que la courbe du rendement électrique est quasiment là même pour les différentes valeurs du débit utilisé, le plus important est que sa valeur ne se baisse pas au cours de la journée, elle atteint une valeur minimum de 11,7%, ce qui traduit l'efficacité du système utilisé, (refroidissement et concentration).



Figure 4-13: La variation de la puissance électrique du CPC-PVT



Figure 4-14: La variation du rendement électrique du CPC-PVT.

### **IV.7. Conclusion:**

À partir des résultats précédents, nous concluons que la technique de concentration solaire utilisée avec le système de refroidissement de jet impactant pour les panneaux solaires à une efficacité significative pour réduire la température des cellules solaires, améliorer leurs performances et augmenter leur production. Nous espérons que cette technique sera diffusée dans plusieurs centres.

# **Conclusion générale**

# **Conclusion générale**

Ce travail nous a permis d'étudier un système hybride PVT-CPC, sous l'influence d'une concentration solaire, lors de la conversion électrique, de la chaleur est générée ce qui entraîne une augmentation de la température de la cellule photovoltaïque. Elle peut atteindre 139°C, pour le présent cas, (la basse concentration), ce qui nécessite l'utilisation d'un système de refroidissement.

Dans notre travail, nous avons appliqué une concentration de 2.6, ce qui provoque une diminution du rendement électrique du PV, on a même constaté une valeur de 6,02%. Ce phénomène est dû à la partie du rayonnement solaire concentré non absorbée par les cellules du PV, qui sera à l'origine de leur échauffement.

Le but de ce travail est double, d'abord l'amélioration du rendement électrique par l'intégration d'une concentration solaire assurée par un CPC, et l'exploitation de l'énergie thermique par un refroidissement efficace, dans notre cas c'est la technique du jet impactant.

Différents scénarios ont été discutés afin de juger les paramètres optimaux pour un refroidissement efficace, à savoir l'effet du débit, la distance entre la plaque et le jet et la position des différents orifices du jet impactant. Nous avons constaté une diminution de la température des cellules jusqu'à 29.68°C. Ceci nous a permis d'enregistrer une amélioration de 11.7% du rendement électrique.

# ANNEXE (1)

# Table4-1: Données utilisées pour la simulation

Symboles	Valeur	Unité
L	1.28	m
W	0.320	m
V <sub>vent</sub>	1.025	m/s
Σ	5.67*10^-8	$w/m^2.k^4$

Le verre			
Cpv	840	J/kg .k	
$\lambda_{ m v}$	1	w/m.k	
$\rho_v$	2430	Kg/m <sup>3</sup>	
e <sub>v</sub>	0.003	m	
$\alpha_{\rm v}$	0.05	_	
$\tau_{\rm v}$	0.84	_	
ε <sub>v</sub>	0.93	_	
La cellule			
Cpc	677	J/kg. K	
$\lambda_{c}$	148	w/m. k	
ρ <sub>c</sub>	2090	Kg/m <sup>3</sup>	
ec	0.0003	m	
α <sub>c</sub>	0.85	_	
T <sub>ref</sub>	298	K	
В	0.0045		
η	0.12	_	
Le tedlar			
$\lambda_t$	0.033	w/m. k	
ρ <sub>t</sub>	1450	Kg/m <sup>3</sup>	
et	0.0005	m	
$\alpha_{t}$	0.80	_	
Cpt	1090	J/kg. K	
La plaque			
λ <sub>p</sub>	204	w/m.k	
$\rho_p$	2719	Kg/m <sup>3</sup>	
ep	0.0003	m	
Cpp	871	J/kg. K	

\_\_\_\_\_

# Référence

[1] KHELIFA Abdelkrim: « Contribution à la conception et modélisation d'un capteur solaire hybride photovoltaïque thermique PVT » Université El-Hadj Lakhdar, Batna ; thèse. 2017.

[2] GHELLAB Amel: « Modélisation et optimisation des capteurs solaires hybrides » Université de Constantine. Thèse ; 2018

[3]ABBAD IMANE : « Simulation de l'effet des paramètres climatiques (température, poussière et éclairement) sur le rendement d'une cellule solaire »Université Larbi Ben M'Hidi, Oum El Bouaghi ,2019.

[4] MEZIANIFariza : « Détermination du gisement solaire par traitement d'images MS » Université Mouloud Mammeri de TIZI OUZOU. Mémoire de Magister.

[5] https://ar.m.wikipedia.org.

[6]https://www.aleqt.com

[7] HaffarAbdelouahed etAmgharMassiv : « Etudede la performance d'un concentrateur cylindro-parabolique en vue de son utilisation dans un procédé de séchage », UniversitéKasdiMerbah Ouargla ; 2019.

[8] **RETERI Ahmed** : « Modélisation thermique du refroidissement des capteurs hybrides photovoltaïques-thermiques à l'aide des matériaux à changement de phase » ; Université AboubakrBelkaïd ; Tlemcen : thèse ; 2018.

[9]BentoumiHadjer :« Etude numérique et expérimentale d'un capteur solaire thermique en Boussaâda » ; Université, Mohamed Boudiaf - M'SILA ; Mémoire de Master : 2017.

[10] BECHKI Sara:« Etude Numérique D'un Capteur Solaire Hybride PVT »; Université KasdiMerbah Ouargla, Mémoire Master; 2020

[11] SeghirMouad : « Etude et comparaison entre un concentrateur solaire parabolique et cylindro-parabolique » Université Tahri Mohammed Bechar, Mémoire de Master ,2017-2018.

[12]KosticLj T, 2010. Optimal design of orientation of PV/Tcollector with reflectors.

AppliedEnergy, 87 3023-9

**[13] Maifi Lyes,** « Etude et dimensionnement d'un concentrateur solaire cylindroparabolique » Université de Bouira, 2018.

[14] Bedjaouane Soumia ; Lemherzi Nassira :« Evaluation du confort thermique dans lesanciennes bâtisses de la région d'Adrar », Université Ahmed Draïa d'Adrar, 2019-2020

[15] Yves Jannot: « transfert thermique », Ecole des Mines Nancy,2012

[16] http://www.techno-science.net

[17] B. KHARBOUCH : « Cours de transfert de chaleur Partie: convection »; Université

Abdel Malek Essaadi, Faculté des Sciences Tétouan, 2018-2019

[18] https://fr.m.wikipidia.org

[19] KHALIFA A ABDLKARIME « Etude numérique et modélisation d'un capteur solaire Hybride PVT » Université El-Hadjar Lakhdar-Batna, 2011