الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCATRIQUE ET POPULAIRE

MINISTÈRE DE L'ENSIGEMENT SUPERIEYUR ET

DE LA RECHERCHE SCIENTIDIQUE



UNIVERSITÉ MOHAMED SEDDIK BENYAYHIA-JIJEL

Faculté des sciences et de la technologie

Département de génie mécanique

N°:……/2025

Mémoire de fin d'études

DOMAINE: SCIENCES ET TECHNOLOGIES

FILIÈRE: GÉNIE MÉCANIQUE

SPÉCIALITÉ: MÉCANIQUE ENERGÉTIQUE

Thème

Etude comparative de l'effet de différentes formes des chicanes sur les performances d'un capteur PVT

Présenté par :

KENIOUA Chiraz

LAIB Issraa

Encadré par : Saadi Saida

Date de Soutenance : /07/2025

Jury de soutenance

Président : Bouaraoui Amine	Grade MCB	Univ MSB jijel
Encadreur : Saadi Saida	Grade MAA	Univ MSB jijel
Examinateur : Laouir Ahmed	Grade PR	Univ MSB jijel

Promotion : 2024 /2025

Remerciement

Je remercie Allah en premier, pour La force, la patience et la présence dans chaque étape.
Un grand merci à ma mère et à mon père pour leur amour, leur soutien et leurs encouragements. Merci aussi à mes frères et sœurs.
Et un grand merci à mon encadrante « Saadi Saida » pour ses conseils et son aide précieuse.

KENIOUA CHIRAZ

Merci à Allah pour tout : la force, le courage et la paix dans le cœur.
Un merci spécial à mon encadrante « Saadi Saida » pour m'avoir donné assez de temps pour compléter ma mémoire d'étude. Et un merci spécial et sincère à ma mère, mon père et ma famille pour le soutien moral et financier et pour être à mes côtés face aux difficultés à terminer mes études.

LAIB ISSRAA

Abstract

Photovoltaic technology provides a direct method for converting solar energy into electricity. However, one of the main challenges of photovoltaic panels is the reduction in their efficiency due to heating caused by solar radiation, hence the need for cooling. The objective of the present work is to develop a thermal model in ANSYS Fluent to simulate the electrical and thermal performance of a PV module by inserting ribs into the cooling channel. Two different configurations, one with rectangular ribs and the other with quarter-circle-shaped ribs, were proposed. The influence of fluid inlet velocity, solar radiation, and the number of ribs was studied. In particular, for the latter parameter, preliminary results show that rectangular ribs provide the best performance with three ribs, while quarter-circle ribs are more efficient with only seven ribs.

Keywords: PVT system, air-based cooling, form of ribs, simulation, electrical and thermal efficiency.

ملخص

تُعدّ التكنولوجيا الكهروضوئية وسيلة مباشرة لتحويل الطاقة الشمسية إلى كهرباء. ومع ذلك، فإنّ أحد التحديات الرئيسية للألواح الكهروضوئية هو انخفاض كفاءتها بسبب ارتفاع حرارتها الناتج عن الإشعاع الشمسي، مما يبرز الحاجة إلى تبريدها .يهدف هذا العمل إلى تطوير نموذج حراري باستخدام برنامج ANSYS Fluent لمحاكاة الأداءين الكهربائي والحراري للوحدة الكهروضوئية، من خلال إدخال زعانف داخل قناة التبريد. تم اقتراح تكوينين مختلفين: أحدهما بزعنفيات مستطيلة، والآخر بزعنفيات على شكل ربع دائرة. تمت دراسة تأثير سرعة دخول المائع، والإشعاع الشمسي، وعدد الزعنفيات. وتُظهر النتائج الأولية، خاصةً لهذا العامل الأخير، أن الزعنفيات المستطيلة تعطي أفضل أداء عند استخدام ثلاث زعنفيات، في حين أن الزعنفيات ربع الدائرية تكون أكثر كفاءة عند استخدام سبع زعنفيات فقط.

الكلمات المفتاحية :نظامPVT ، تبريد بالهواء، شكل الزعنفيات، المحاكاة، الكفاءة الحرارية والكهربائية.

Résumé

La technologie photovoltaïque constitue une méthode directe pour convertir l’énergie solaire en électricité. Toutefois, l’un des principaux défis des panneaux photovoltaïques est la diminution de leur rendement due à l’échauffement sous l’effet du rayonnement solaire, d’où le besoin de les refroidir.

L’objectif du présent travail est de développer un modèle thermique dans ANSYS Fluent pour simuler les performances électrique et thermiques du module PV, par insertion des chicanes dans le canal de refroidissement. Deux configurations différentes, une à chicanes rectangulaires et l’autre en forme de quart de cercle ont été proposée. L’influence de la vitesse d’entrée du fluide, du rayonnement ainsi que du nombre de chicanes a été étudiée. En particulier, pour ce dernier paramètre, les résultats préliminaires montrent que les chicanes rectangulaires donnent les meilleures performances avec trois chicanes, tandis que les chicanes en quart de cercle sont plus efficaces avec seulement sept chicanes.

Mots-clés: système PVT, refroidissement par air, forms des chicanes, simulation, rendement électrique et thermique

Sommaire

Chapitre1 : Généralité et revue bibliographiques

Introduction générale……**1**

I .1 introduction : **2**

I.2 Systèmes et techniques de refroidissement des panneaux photovoltaïques: **2**

I.2.1 Refroidissement passif : **4**

2.1.1 Refroidissement par air : **4**

2.1.2 Refroidissement par eau : **6**

2.1.3 Refroidissement par des matériaux à changement de phase : **8**

I.2.2Refroidissement actif : **9**

2.2.2Refroidissement par eau : **11**

2.2.3 Refroidissement par nano fluides : **12**

Chapitre2:Modèles et formulations numériques

II.1 Introduction : **14**

II.2 Modèle Géométrique : **14**

II.3 Formulation Mathématique : **16**

II.4 Modélisation numérique : **19**

II.4.1 Présentation de design modeler pour la modélisation géométrique : **19**

II.4.2 Maillage : **20**

II.4.3 Simulation dans fluent **21**

II.5 Consistance du maillage **24**

II.6 L'organigramme de la simulation ……**24**

Chapitre III : Résultats et discussions

III.1Introduction : **25**

III.2 Validation du modèle numérique:……**25**

III.3.1 Cartographie de l'écoulement : **27**

III.3.2 Influence de la vitesse d'entrée : **31**

III.3.3 : L'uniformité de la température : **35**

III.3.4 Influence de rayonnement : **36**

III.3.5 Influence de la température ambiante : **39**

III.4 Influence de nombre de chicane : **42**

III.5 conclusion **45**

Concluusion générale…… …… **46**

Listes des figures

Figure I.1 division du système de refroidissement en fonction du fluide de travail……..….3

Figure I.2.. divisions des systèmes de refroidissement par méthode de distribution…….... 4

Figure I.3: Méthode de refroidissement par flux d'air……..……..……5

Figure. I.4 : système de refroidissement utilisant des dissipateurs thermiques …….…...……6

Figure I.5: méthodes de refroidissement par flux d'eau.....7

Figure I.6: vue photographique et schématique du stand expérimental…….…….7

Figure I.7: méthode de refroidissement du MCP……8

Figure I.8: Modèle de volets rotatifs remplis de matériau à changement de phase (MCP)……9

Figure I.9: Banc d'essai du panneau PV couplé au système géothermique d'air…...….…….10

Figure I. 10: Schéma du banc d'essai……...…….11

Figure I.11: modèles du refroidissement PV par micro canal……12

Figure I.12: Système de refroidissement par échangeur de chaleur convergent……...……12

Figure II.1: schéma descriptif de la configuration géométrique du système PVT avec chicanes rectangulaire (cas1) quart de cercle (cas 2)……...15

FigureII.2 : maillage des deux configuration avec zoom sur les couches solides…….21

FigureIII.1: Variation temporelle des températures de la cellule photovoltaïque(a) et de l'air à la sortie(b). Pour une vitesse w =1m/s. Vin et G variant en fonction du temps……25

FigureIII.2: contours des températures à Ve=2.5m/s, a) cas b)cas2….....28

FigureIII.3: Contours des vitesses à Ve=2.5m/s, a) cas 1, b) cas2……29

FigureIII.4: contours des pressions à Ve=2.5m/s, a) cas 1, b) cas2……..30

Figure III.5 :contours de l'énergie cinétique turbulente a) cas 1 ; b) cas 2…….31

Figure III.6: influence de la vitesse sur a) la température de la cellule
b) température de sortie ……33

FigureIII.7: influence de la vitesse sur a) le rendement électrique
b) le rendement thermique……..34

FigureIII.8: variation de l'uniformité de la température……...35

FigureIII.9: influence de la température ambiante sur a) la température de la cellule
b) température de sortie……..…37

FigureIII.10 : influence de la température ambiante sur a) la température de la cellule b) température de sortie……...38

FigureIII.11: influence de la température ambiante sur a) la température de la cellule b) température de sortie…….40

FigureIII.12: influence de la température ambiante sur a) le rendement électrique b) rendement thermique……41

Figure III.13: influence de nombres de chicane a) température de la cellule b) rendement électrique ……..……43

Figure III.14: influence de nombres de chicane a) température de sortie b) rendement thermique……..……44

Listes des tableaux

Tableau II.1 : Les caractéristiques thermo-physiques et géométriques ……...16

Tableau II.2 : Les caractéristiques optiques……..16

Nomenclature:

Symboles	**Définition**	**unité**
A	Surface.	(m2)
Cp	Capacité calorifique spécifique	(J/kg.K)
Dh	Diamètre hydraulique	(mm)
G	Rayonnement solaire	(W/m2.K)
H	Hauteur de canal	(mm)
hc	Coefficient de convection	(W/m2.K)
h	Hauteur de chicane	(mm)
l	Largeur de chicane	(mm)
L	Langueur de canal	(mm)
T	Température de	(K)
V	Le volume de couche considérée.	(m3)
Qv	Dissipation visqueuse	(W/m3)
ρ	Masse volumique	(kg/m3)
w	Vitesse du vent	**(m/s)**
Symboles grecque		
α	L'absorptivité	
βref	Le coefficient de température	(K-1)
σ	Constante de Stefan-Boltzmann	(W/m2.K)
ε	Émissivité de surface du verre	(K)
η	Rendement	

Indices

a	ambiante	-
c	cielle	-
Cs	cellule solaire	-
el	électrique	-
réf	référence	-
th	thermique	-
v	verre	-

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Introduction générale :

L’énergie solaire photovoltaïque (PV) est à l'avant-garde de la transition énergétique mondiale, en offrant une source d'électricité renouvelable et propre. Toutefois, l'un des

Principaux défis des panneaux photovoltaïques est la diminution de leur rendement due à l'échauffement sous l'effet du rayonnement solaire. En effet, une élévation de la température des cellules PV entraîne une baisse de leur rendement électrique, de l'ordre de 0,4 % à 0,5 % par degré Celsius au-dessus de leur température nominale de fonctionnement. Pour y remédier à ce problème, plusieurs techniques de refroidissement ont été développées. Parmi elles, le refroidissement par air forcé ou naturel se distingue par sa simplicité et son faible coût. L'ajout de chicanes dans le canal de refroidissement constitue une stratégie prometteuse pour améliorer le transfert thermique entre l'air et le panneau. Les chicanes augmentent la surface d'échange et perturbent le flux d'air, ce qui permet une meilleure dissipation de la chaleur. Dans cette étude, nous intéressons à deux géométries de chicanes : les chicanes rectangulaires et les chicanes en quart de cercle, en évaluant leur influence sur les performances thermiques et électriques du système. Les paramètres étudiés incluent la température d'entrée de l`air, le rayonnement solaire incident, la température ambiante et le nombre de chicanes dans le canal. Ce mémoire est structuré en trois chapitres principaux : Le premier chapitre portera sur la présentation des enjeux liés au refroidissement des panneaux photovoltaïques ainsi que les différentes méthodes de refroidissement passif et actif. Le deuxième chapitre sera consacré à la formulation mathématique des équations gouvernantes (transfert de chaleur, écoulement d'air) et la méthodologie de simulation sous fluent (conditions aux limites, paramètres étudiés). Quant au troisième chapitre, les résultats issus de la simulation discutés avec une comparaison dresseront présentés performances entre les deux types de chicane Enfin, nous terminerons par une conclusion générale résumant les principaux résultats obtenus ouvrant des perspectives pour des recherches futures.

CHAPITRE I :

GÉNÉRALITÉ ET REVUE BIBLIOGRAPHIQUES

I .1 Introduction :

Face à la croissance rapide de la demande énergétique mondiale et aux préoccupations environnementales liées à l'utilisation des combustibles fossiles, les énergies renouvelables sont devenues une alternative incontournable. Parmi elles, l'énergie solaire photovoltaïque (PV) s'impose grâce à son abondance, sa propreté et sa facilité d'exploitation. Toutefois, malgré les progrès technologiques récents, les performances des panneaux photovoltaïques restent limitées par leur sensibilité& à la température. En effet, une élévation de la température de fonctionnement réduit leur rendement et diminue la production d'énergie électrique. Ce phénomène s'explique notamment par la baisse de la tension en sortie des modules PV à haute température. Pour pallier cette limitation, diverses techniques de refroidissement ont été proposées et étudiées, allant du refroidissement passif aux systèmes actifs utilisant de l'air, de l'eau, des nano fluides ou encore des matériaux à changement de phase (MCP). L'amélioration de l'efficacité énergétique des modules PV à travers des solutions de refroidissement adaptées représente donc un enjeu crucial pour optimiser leur performance, surtout dans les régions fortement ensoleillées.

I.2 Systèmes et techniques de refroidissement des panneaux photovoltaïques :

Le refroidissement des panneaux photovoltaïques permet de réduire l'impact négatif de la baisse de puissance produite par l'augmentation de leur température de fonctionnement. Le développement d'un système de refroidissement adapté compense cette baisse et améliore la fiabilité opérationnelle. La littérature présente différentes techniques d'évacuation de la chaleur des panneaux photovoltaïques.

Selon le fluide utilisé, on distingue le refroidissement par eau, par air ou hybride, par exemple à l'aide de matériaux à changement de phase, de caloducs, de microcanaux, de nanofluides ou d'éléments thermoélectriques, qui, selon leur combinaison, offrant un rendement plus ou moins élevé [1].

Concernant la structure du système, les modules peuvent être classés comme panneaux plans, concentrés, intégrés au bâtiment (BIPV) et connectés à une pompe à chaleur [2]. Les méthodes modernes de refroidissement des modules photovoltaïques reposent sur la division du faisceau (ou bande passante spectrale), qui distingue la longueur d'onde du

rayonnementsolaireatteignant les cellules. Une classification des techniques de refroidissement photovoltaïque selon le fluide frigorigène utilisé est présentée à la figure 1. Cette classification est présentée sur la figure 2.

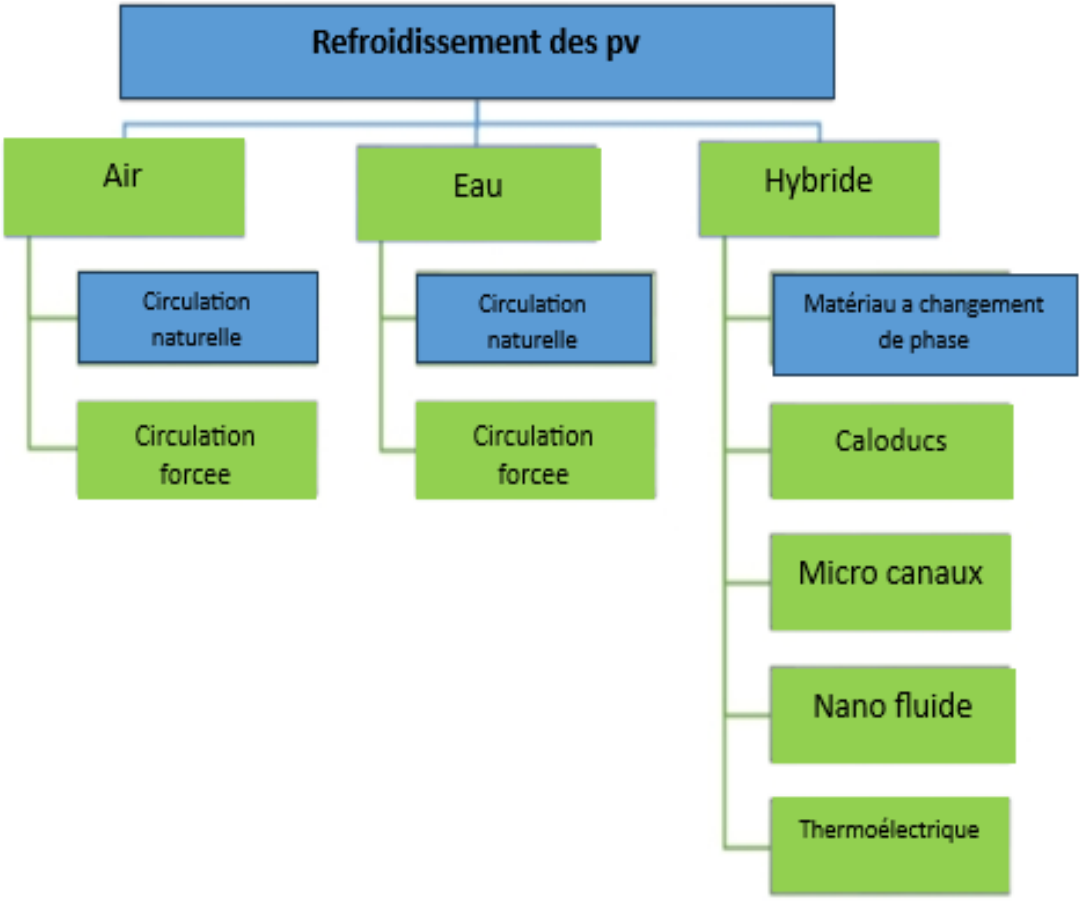


Figure I.1: division du système de refroidissement en fonction du fluide de travail [3]

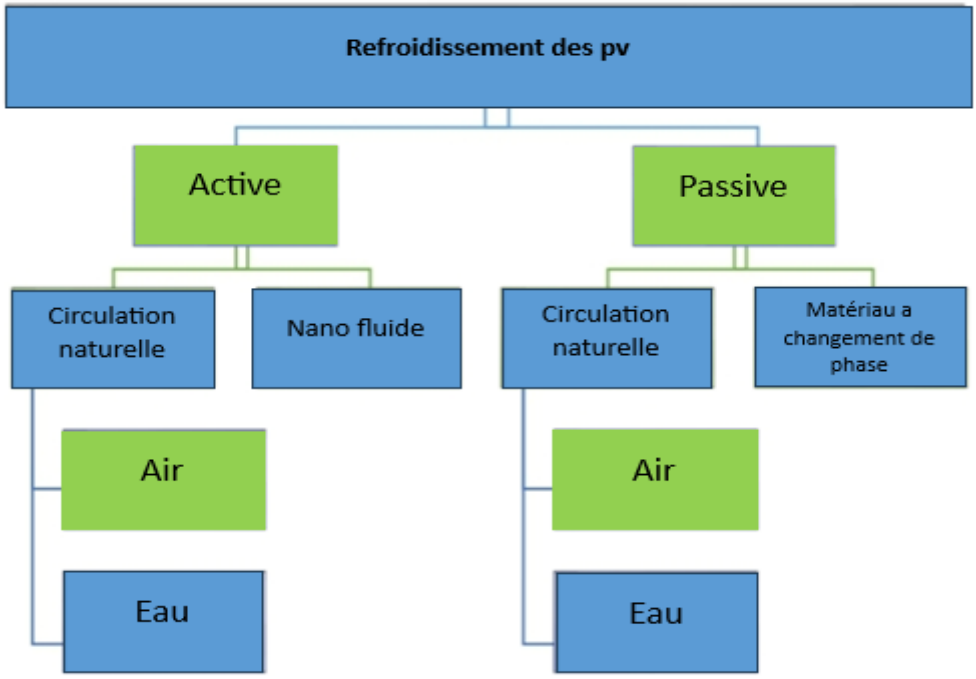


Figure1.2 : divisions des systèmes de refroidissement par méthode de distribution [3]

I.2.1 Refroidissement passif :

Le refroidissement passif utilise la convection naturelle et la conduction thermique sans composants mécaniques pour dissiper ou évacuer la chaleur des modules photovoltaïques. Son principe de fonctionnement repose sur le transport de la chaleur du lieu de production vers l'environnement. Afin d'augmenter la surface de transfert thermique des panneaux photovoltaïques, des solutions telles que des tubes ou des ailettes en matériaux à haute conductivité thermique sont utilisées. La classification générale des systèmes de refroidissement passif comprend le refroidissement par circulation naturelle par air, eau ou matériaux à changement de phase.

2.1.1 Refroidissement par air :

Le refroidissement passif par air est la méthode la plus économique et la plus simple pour évacuer la chaleur excédentaire des panneaux photovoltaïques. Dans ce type de solution, les modules photovoltaïques sont refroidis par un flux d'air naturel. La conception la plus courante comprend des ailettes, placées à la base du module. Ces ailettes augmentent la surface de transfert de chaleur radiative et convective du conduit d'air, provoquant des turbulences et agissant comme un dissipateur thermique. La figure 3 présente un schéma général du refroidissement par air des panneaux photovoltaïques. La littérature décrit plusieurs études menées dans ce domaine.

Cuce et al. [4] ont fait une étude expérimentale en utilisant un dissipateur thermique en aluminium pour dissiper la chaleur excédentaire dans le panneau PV. Pour différentes valeurs des températures ambiante et différentes intensités de rayonnement solaire., les résultats ont montré que la technique de refroidissement proposée augmente l'efficacité de conversion énergétique, l'exergie et la puissance des cellules de 20 % à un éclairement énergétique égal à 800 W/m².

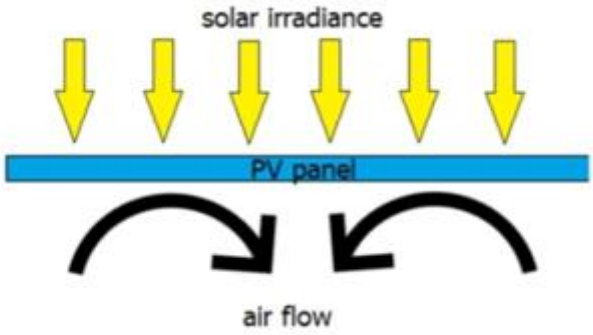


Figure I.3: Méthode de refroidissement par flux d'air. [5]

Rajput et Yang ont également mené des études sur l'effet des dissipateurs thermiques.
Un nombre de 197 éléments radiatifs en aluminium ont été montés sur la partie principale du panneau photovoltaïque [6]. Dans leur cas les auteurs ont supposé une longueur de dissipateur thermique de 0,124 m. Des tests ont montré que cette solution offre un potentiel important pour l'évacuation passive de la chaleur des panneaux photovoltaïques.

Un autre type de dissipateur thermique sous forme d'une plaque d'aluminium dotée d'ailettes perforées fixées à l'arrière, a été étudié par Mittelman et al. [7]. Ces ailettes étaient perforées pour améliorer la circulation de l'air et permettre une meilleure absorption de la chaleur du panneau photovoltaïque. Les résultats ont montré une diminution significative de la température de fonctionnement du module photovoltaïque et une augmentation du rendement électrique. La réduction de température a permis d'augmenter la tension et le point de fonctionnement maximal de 10% et 18,67% respectivement. La figure 4 illustre le système de refroidissement proposé.



Figure. I.4 : système de refroidissement utilisant des dissipateurs thermiques [8].

Amber et al. Ont mené une étude expérimentale sur les performances de deux techniques de refroidissement passif [8]. La première consistait à utiliser des ailettes rectangulaires pour dissiper l'excès de chaleur des modules photovoltaïques, et la seconde à utiliser des ailettes circulaires placées à l'arrière des panneaux. Les analyses ont montré qu'une meilleure efficacité pouvait être obtenue grâce à l'utilisation d'ailettes rectangulaires, qui dissipaient 15,5 % de chaleur de plus que le module de référence. Cette solution a permis une perte de température du module de 10,6 % et une augmentation de l'efficacité de 14,5 %.

Une approche totalement novatrice du refroidissement passif par air a été proposée par Najafi et Woodbury [9]. Les auteurs ont mené une étude sur le refroidissement des cellules photovoltaïques par effet Peltier. Dans ce cas, un module de refroidissement thermoélectrique a été fixé à l'arrière des panneaux. Les auteurs ont supposé que le panneau photovoltaïque lui-même fournirait l'énergie nécessaire au fonctionnement de l'élément de refroidissement. Les résultats ont montré que l'utilisation d'un module de refroidissement thermoélectrique satisfaisait aux conditions supposées.

2.1.2 Refroidissement par eau :

L'eau est le deuxième fluide caloporteur utilisé pour l'évacuation de la chaleur excédentaire des panneaux photovoltaïques. Le refroidissement par eau comprend la convection libre, la pulvérisation d'eau, les caloducs ou les techniques d'immersion. L'eau courante ou pulvérisée évacue la chaleur du panneau photovoltaïque, abaissant ainsi sa température. Un schéma du système de refroidissement par eau est présenté sur la figure 5. La chaleur collectée par les panneaux photovoltaïques peut être utilisée de nombreuses manières. La solution la plus simple consiste à utiliser le fluide chauffé pour la production d'eau chaude sanitaire [10].

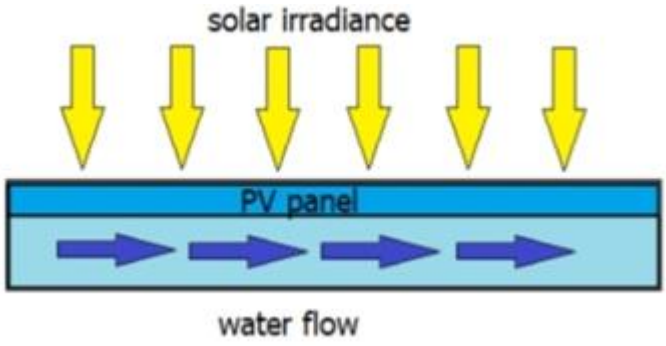


Figure I.5: méthodes de refroidissement par flux d'eau. [11]

Yang et al. ont proposé une solution consistant à pulvériser de l'eau sur la surface des panneaux [12]. Ce système assure le refroidissement en pulvérisant de l'eau sur l'envers du panneau photovoltaïque, puis en la renvoyant vers le réservoir. L'eau recyclée est collectée dans un échangeur de chaleur en U(figure 6), installé dans un puits existant pour améliorer la capacité de refroidissement, puis le panneau est à nouveau pulvérisé pour le refroidir. Les résultats expérimentaux ont montré que la solution proposée permet une amélioration de 14,3 % du rendement.

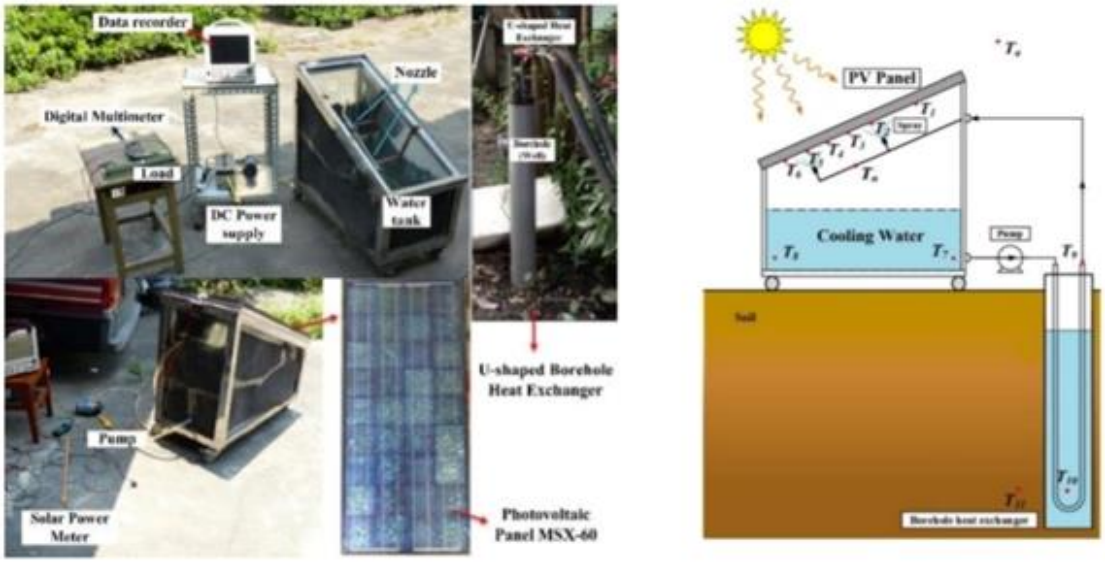


Figure I.6: vue photographique et schématique du stand expérimental.[13]

Wu et Xiong ont proposé d'utiliser l'eau de pluie pour le refroidissement passif, distribuée par un dispositif d'expansion de gaz [14]. La quantité d'eau circulant dans le système de

refroidissement dépend de l'intensité du rayonnement solaire atteignant le système. Ce rayonnement est également responsable de l'augmentation du volume de gaz dans le dispositif d'expansion. La solution proposée a permis d'augmenter le rendement électrique des panneaux photovoltaïques de 8,3 %.

2.1.3 Refroidissement par des matériaux à changement de phase :

Les matériaux à changement de phase (MCP) sont des composés chimiques présentant une chaleur latente élevée, comprise entre 100 et 280 kJ/kg, selon la nature du matériau [15]. Les MCP se caractérisent par leur capacité à retenir l'énergie thermique et à stabiliser la température. Ces substances sont facilement utilisées pour évacuer la chaleur excédentaire des installations photovoltaïques grâce à leur capacité à absorber et à stocker de grandes quantités d'énergie. Le MCP est donc qualifié de réservoir de chaleur. Le processus de transformation de phase, qui se produit pendant son fonctionnement, entraîne une réduction de volume de 10 % par rapport au volume initial. Le MCP est généralement appliqué à l'arrière du panneau photovoltaïque. Il s'agit d'une fine couche de MCP déposée dans un boîtier scellé en aluminium ou en acier, fixé ensuite au panneau. La chaleur extraite du panneau photovoltaïque provoque un changement de phase du matériau et la dissipe vers l'extérieure [16].

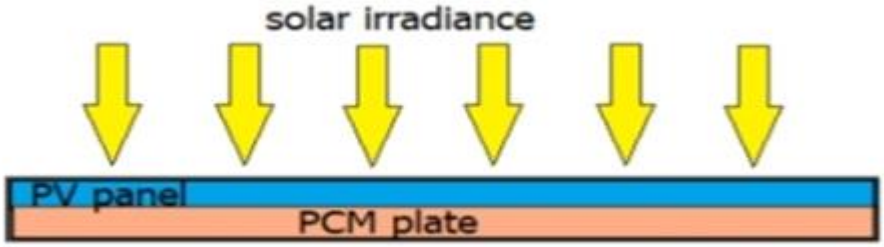


Figure I.7: méthode de refroidissement du MCP.[17]

Cette méthode est utilisée par Hamdan et al. [18] dans leur étude expérimentale du refroidissement du système photovoltaïque, comparé à celui non refroidi. Un matériau à changement de phase (MCP) dont le point de fusion est proche de la température des conditions d'essai standard (STC) des panneaux a été choisi comme matériau de refroidissement. Des tests effectués pendant 28 jours ont montré une augmentation du rendement énergétique de 2,6 % par rapport aux panneaux non refroidi.

Aricie et al. [19] ont présenté un refroidissement photovoltaïque utilisant de la paraffine, un matériau à changement de phase organique à forte chaleur latente. L'utilisation de MCP s'est

avérée techniquement justifiée, car elle réduit la température de fonctionnement du panneau photovoltaïque jusqu'à 10,26 °C et augmente ainsi le rendement électrique jusqu'à 3,73 %.

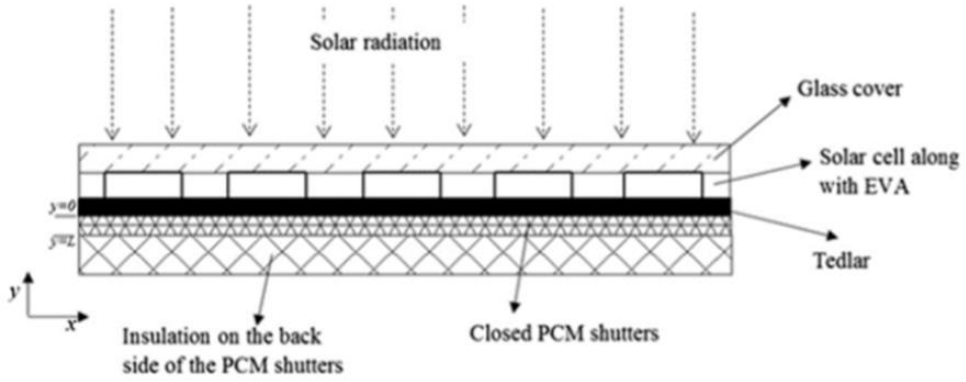


Figure I.8: Modèle de volets rotatifs remplis de matériau à changement de phase (MCP).[20]

L'expérience rapportée par Waqas et Ji [21] a utilisé des volets mobiles remplis de MCP placés à l'arrière des panneaux photovoltaïques (figure 8). Les volets remplis de MCP agissent comme un dissipateur thermique pour le panneau photovoltaïque pendant les heures d'ensoleillement. L'ouverture des volets en dehors des heures d'ensoleillement a résolu le problème de solidification incomplète du matériau. La chaleur accumulée pendant la journée était dissipée la nuit par la rotation des volets, réduisant la température des panneaux de 22 °C et une amélioration maximale de 9 % du rendement pendant la saison estivale.

Klugmann-Radziemska et Wcisło-Kucherek ont étudié le flux thermique à travers trois matériaux à changement de phase: la paraffine RT-22 et la colophane, caractérisés par des points de fusion différents. En raison de la vitesse de fusion de ces matériaux, la paraffine a été choisie pour les analyses finales. Ce matériau a abaissé la température des cellules de 5 °C, [22].

I.2.2 Refroidissement actif:

Le refroidissement actif utilise un flux forcé de fluide caloporteur (eau , air ou nanofluides) à travers des ventilateurs, des pompes ou d'autres dispositifs mécaniques pour abaisser la température des cellules photovoltaïques. Ce refroidissement nécessite généralement une énergie supplémentaire pour alimenter les équipements auxiliaires, mais se caractérise par une efficacité de refroidissement nettement supérieure à celle du refroidissement passif [23].

2.2.1 Refroidissement par air :

Le refroidissement actif par air présente l'avantage de ne pas nécessiter d'investissements financiers importants. Seul l'équipement entraînant le fluide frigorigène peut générer des coûts supplémentaires. L'utilisation de composants d'entraînement entraîne également une consommation électrique supplémentaire, qui doit être prise en compte lors de l'estimation du rendement net de la solution..

L'étude d'Elminshawy et al. [24] ont proposé une solution active utilisant de l'air pré-refroidi qui servira de réfrigérant à l'arrière des panneaux photovoltaïques. Le système de refroidissement est connecté à un module photovoltaïque plat d'une surface active de 1,65 m² à l'échangeur de chaleur aérothermique et enterré. Un simulateur d'air ambiant comprenant un ventilateur centrifuge et un réchauffeur d'air (chambre de chauffage électrique) à température réglable a été utilisé afin d'atteindre une température simulant la plage de températures ambiantes des régions arides et chaudes (figure 9). L'étude a montré que l'utilisation d'une telle solution pour un un débit optimal de 0,0288 m³/s réduit la température du module photovoltaïque d'environ 13 °C, ce qui améliore la puissance de sortie et le rendement électrique du module photovoltaïque de 20 %.



Figure I.9: Banc d'essai du panneau PV couplé au système géothermique d'air.[25]

Tonui et Tripanagnostopoulos [26] proposent une autre solution utilisant le refroidissement par air. Les simulations ont été réalisées pour un conduit d'air à ailettes monté à l'arrière des panneaux, à travers lequel circule le fluide frigorigène, forcé par une pompe. De plus, la partie avant des panneaux était équipée d'une couche de verre supplémentaire. Cette solution a permis d'obtenir un rendement thermique maximal de 52 % et un rendement électrique de 9 à 10 % en régime permanent.

Rahimi et al. [27] ont conçu un dispositif éolien basé sur un tunnel conique à double fonction (figure 10), refroidir les cellules photovoltaïques et produire de l'électricité. Une carte à axe vertical, appelée girouette auto-orientable, a été installée au sommet du tunnel pour déterminer

la direction du vent. La hauteur du dispositif de refroidissement a un rôle important pour faciliter son oscillation et indiquer avec précision la direction du vent. Lorsque le vent frappe l'étroite queue verticale, il tourne à angle droit, de sorte que la chambre s'ajuste à la direction du vent. Le vent s'infiltre dans la chambre d'admission, dont la paroi est de 1 mm d'épaisseur et les angles sont arrondis. La puissance totale a augmenté de 36 % (en prenant en compte la puissance photovoltaïque et celle de l'éolienne).

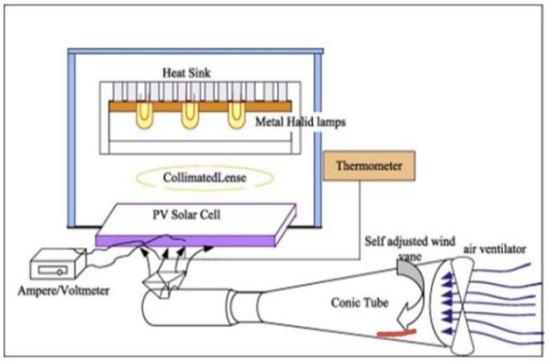


Figure I. 10 : Schéma du banc d'essai.[28]

2.2.2 Refroidissement par eau :

Le refroidissement actif des panneaux photovoltaïques par liquides est une méthode plus efficace que le refroidissement par air et permet d'obtenir des résultats satisfaisants. Cette dernière utilise une circulation d'eau forcée à travers des canaux ou des tubes situés à l'arrière du panneau photovoltaïque. Dans les recherches, le refroidissement par eau est souvent associé à des micro-canaux.

Rahimi et al. Ont étudié le refroidissement par eau avec deux micro-canaux monocanal et multicanal pour deux différents débits. Les analyses ont montré que les multi-micro canaux généraient une plus grande quantité de chaleur, une baisse de température moyenne et une puissance plus importante que les mono-microcanaux. Les résultats ont montré une augmentation de puissance de 28 % et une baisse de température de 6,8 % pour les multi-microcanaux [29].

Barrau et al. [30] ont étudié une solution pour un dispositif combinant l'impact d'un jet de fracture avec la répartition irrégulière des microcanaux. Dans la zone d'impact du jet, le flux thermique n'est absorbé par le fluide que par le fond du dissipateur thermique. La surface d'échange thermique, par laquelle le liquide absorbe la chaleur, augmente dans le sens de l'écoulement, ajoutant la surface des microcanaux à celle du fond du dissipateur thermique. Dans ces microcanaux, le flux thermique au fond du dissipateur thermique diminue progressivement en raison de la réduction de cette surface et de l'augmentation de la température

du liquide de refroidissement. Ceci est lié à la diminution du transfert thermique dans chaque section de microcanal. Il a été démontré que la valeur minimale du coefficient de résistance thermique était de $2{,}18 \cdot 10^{-5}$ $(K \cdot m^2)/W$, différente de celle rapportée dans la littérature égale 10^{-4} $(K \cdot m^2)/W$. L'obtention de cette valeur a permis d'obtenir un rendement énergétique supérieur à celui des microcanaux seuls.

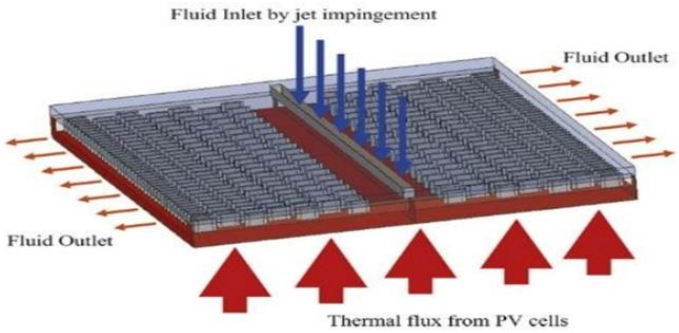


Figure I.11: modèles du refroidissement PV par micro canal[31]

L'analyse comparative de deux configurations refroidie et non refroidie a montré qu'en été les cellules atteignent respectivement des températures de 48,3 ° C et 71,2 °C et une augmentation de puissance de sortie maximale de 36,1 % à 35,5



Figure I.12: Système de refroidissement par échangeur de chaleur convergent.[31]

2.2.3 Refroidissement par nano fluides :

Les nanofluides présentent des propriétés de transfert thermique élevées grâce à leur conductivité thermique supérieure à celle des liquides courants. Ces propriétés permettent d'utiliser ces matériaux avec succès pour refroidir efficacement les panneaux photovoltaïques.

Les nanofluides évacuent efficacement une quantité importante de chaleur résiduelle, ce qui entraîne des températures de surface plus basses. Il a également été démontré que ce type de fluide peut être considéré comme un filtre spectral pour les cellules photovoltaïques, car il absorbe sélectivement le rayonnement infrarouge incident (Ali [32]. Les nanofluides circulent dans différents canaux, généralement des microcanaux, placés à l'arrière du panneau photovoltaïque.

L'utilisation de nanofluides pour le refroidissement des panneaux sous forme de solution eau/(SiO2) avec différents rapports pondéraux compris entre 1 et 3 % a été proposée par Sardarabadi et al. [33] . La plus forte baisse de température de fonctionnement, soit 19 °C, a été obtenue avec une solution eau/(SiO2) à 3 %, ce qui a permis d'augmenter le rendement électrique de 9,2 à 11 %.

Rostami et al. [34] ont présenté une nouvelle solution utilisant des nanofluides de CuO atomisés dont la conductivité électrique élevée et des ultrasons haute fréquence pour refroidir les modules photovoltaïques. Les nanofluides ont été appliqués à l'aide d'un atomiseur à ultrasons, qui acheminait la vapeur froide générée à travers un ensemble de chambres de transport jusqu'à l'arrière des panneaux photovoltaïques. Le réglage de la puissance de l'atomiseur contrôlait le débit de vapeur. Les résultats ont montré une augmentation de la capacité de refroidissement de l'ordre de 2,75 à 57,25 % et une augmentation en pourcentage de la puissance maximale de l'ordre de 3,4 à 51,2 %, selon le débit de vapeur ou la puissance ultrasonor

CHAPITRE II

MODÈLE ET FORMULATION NUMÉRIQUE

II.1 Introduction :

Dans ce chapitre on présentera le modèle géométrique utilisé dans cette étude et les formules (equation de N-S) régissant l'écoulement du fluide au sein du canal de refroidissement du panneau photovoltaïque ainsi que l'équation d'énergie dans les différents domaines solides et fluide.

II.2 Modèle Géométrique :

Le panneau photovoltaïque est refroidi par le bas par circulation d'air dans un canal rectangulaire muni d'un certain nombre de chicanes de deux formes différentes rectangulaire (cas 1) et quart de cercle (cas 2) dont les résultats seront comparés au cas d'un système PVT classique (cas 0). Les dimensions du canal et des chicanes sont les suivantes :

Canal : Longueur L = 1200 mm et hauteur H=50mm.

Chicanes : rectangulaire h= 20 mm, l = 30 mm

Quart de cercle h= 20 mm, l=20mm

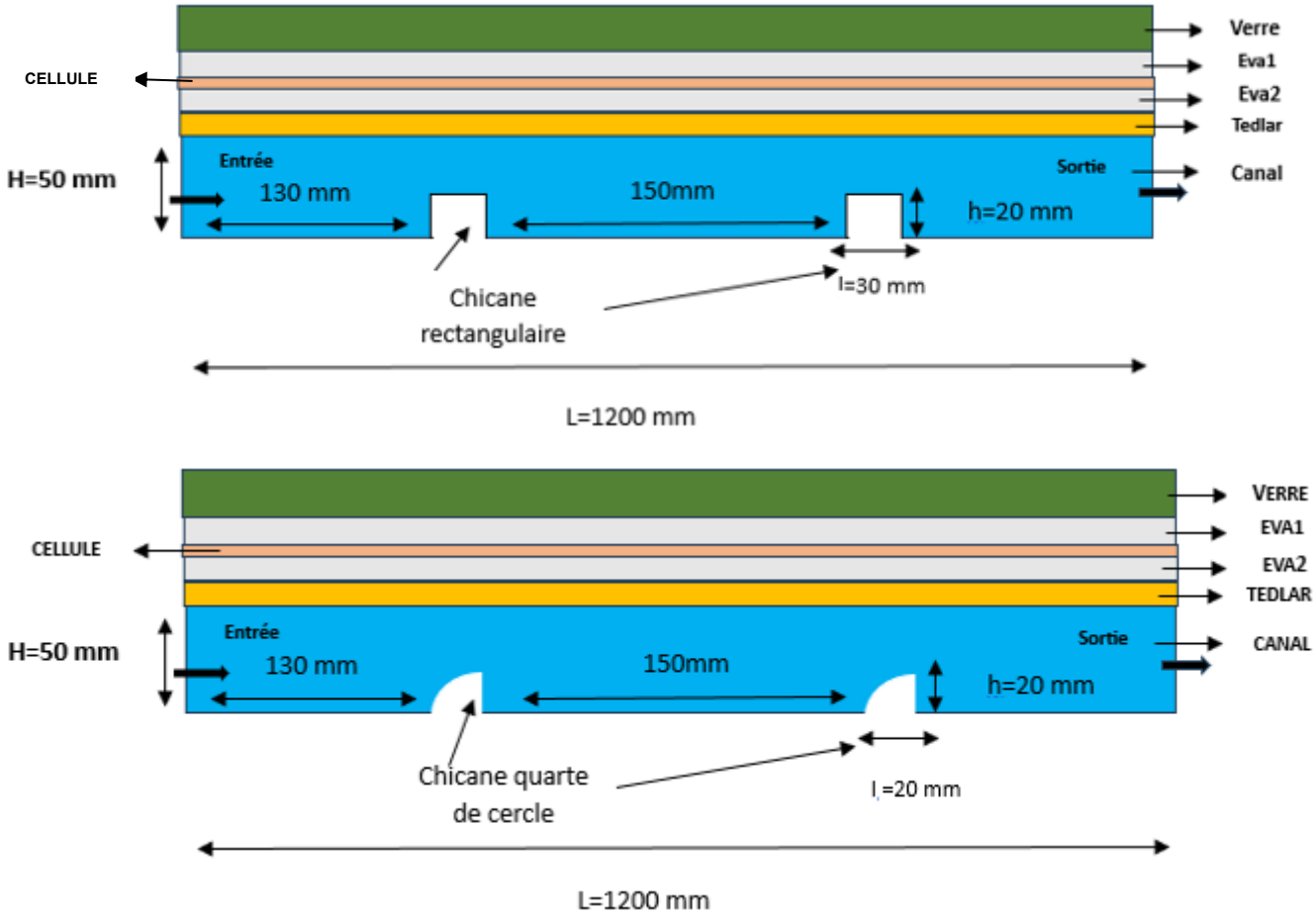


Figure II.1: schéma descriptif de la configuration géométrique du système PVT avec chicanes rectangulaire (cas1) quart de cercle (cas 2)

Le système de capteurs PV est composé de cinq couches, à savoir une couche de verre, la cellule PV encapsulée entre deux couches d'EVA et une couche de Tedlar, chaque couche joue un rôle essentiel dans l'amélioration des performances électriques et thermiques du système. Les propriétés de ces différentes couches sont:

- **Le verre :** Sert de couche frontale. Il protège mécaniquement les cellules solaires, permet le passage de la lumière et résiste aux conditions climatiques.
- **EVA (Ethylène-acétate de vinyle) :** Matériau d'encapsulation, protège contre l'humidité et absorbe les chocs mécaniques et thermiques.
- **Tedlar :** utilisé comme couche arrière. Il assure l'isolation électrique, protège contre l'humidité, les UV et prolonge la durée de vie du la cellu 'e.

Les caractéristiques thermo-physiques et dimensions géométriques des différentes couches et les caractéristiques optiques du panneau photovoltaïque [35] sont présentés dans le **Tableau II.1** et **Tableau II.2** respectivement :

Matériau	Couche	Conductivité thermique(w/m*k)	Capacité calorifique spécifique(J/kg*k)	Densité(kg/m^3)	Epaisseur(mm)
Verre	Couche supérieur	2.00	500	2450	3
EVA	Encapsulant	0.311	2090	950	0.5
Silicone	Cellule solaire	130	677	2330	0.2
Tedlar	Couche arrière	0.15	1250	1200	0.3
Aluminium	Canal	202.4	871	2719	50

Tableau II.1: Les caractéristiques thermo-physiques et géométriques

Matériau	Absorptivité	Réflectivité	Transmissivité	Émissivité
Verre	0.04	0.04	0.920	0.850
EVA	0.08	0.02	0.9	
Silicone	0.9	0.08	0.02	
Tedlar	0.128	0.860	0.012	0.09

Tableau II.2: Les caractéristiques optiques

II.3 Formulation Mathématique:

Dans cette partie, le domaine géométrique présenté dans **la figure II.1** sera modélisé. Dans le système PVT le rayonnement solaire incident est partiellement adsorbé par les différentes couches. L'énergie solaire absorbée par la cellule PV est en partie converti en électricité (environ 20% dans les conditions standards); le reste est convertie en chaleur,

Pour mener à bien cette modélisation, des hypothèses suivantes sont adoptées

Hypothèses:

- L'air est considéré newtonien et incompressible et stationnaire.
- Les propriétés thermo-physiques du matériau des différentes couches et du fluide sont constantes et indépendantes de la température
- L'écoulement est turbulent le modèle k-epsilon est choisi pour la simulation.
- Le transfert de chaleur entre les différentes parois et le milieu environnemental est négligé sauf sur la paroi supérieure

Domaine solide:

Pour étudier l'impact du refroidissement sur le panneau photovoltaïque, par insertions de chicanes dans le canal, le modèle de transfert de chaleur sera détaillé ici

le modèle résoudre l'équation d'énergie dans les différentes couches solides, l'équation de conduction en 2D est comme suit [35]:

$$\nabla \cdot (k_i \nabla T(x,y)i) + q_i = 0 \qquad (1)$$

Tel que k_i, $T(x,y)$et q_i représentent respectivement, la conductivité thermique , le champ de température et l'énergie générée . L'énergie générée dans les différentes couche (verre EVA_1 et cellule PV) représente le flux solaire absorbé. Dans les autres couches EVA_2 et tedlar cette énergie est négligé à cause du faible coefficient de transmittance de la plaque de silicone.

L'énergie généré dans les différentes couches est donné par les équations (2, 3, 4) [36] :

Verre : $$q_v = \frac{G \cdot \alpha_v \cdot A_v}{V_v} \qquad (2)$$

EVA1 : $$q_{eva1} = \frac{G.\tau_v \cdot \alpha_{eva1} \cdot A_{eva1}}{V_{eva}} \qquad (3)$$

Cellule PV : $$q_{cs} = \frac{(1-\eta cs) \cdot G.\tau_{eva}.\tau_v \cdot \alpha_{cs} \cdot A_{cs}}{V_{cs}} \qquad (4)$$

Tel que η_{cs} rendement électrique de la cellule PV donné par la relation suivante

$$\eta_{cs} = \eta_{ref}(1 - \beta_{ref}(T_{cs} - T_{ref}) \quad (5)$$

η_{ref} : le rendement de référence à la température $T_{ref} = 25℃$ est égal 12**%**

β_{ref} : le coefficient de température supposé égal **0.0045**

Dans le domaine fluide :

Les équations de continuité, de quantité de mouvement et le transfert de chaleur sont utilisés pour décrire les écoulements turbulents et écrites en se basant sur les hypothèses ci-dessus [37] :

L'équation de continuité :

$$\rho\nabla \cdot u = 0 \quad (6)$$

L'équation de quantité de mouvement :

Direction x:

$$\rho\,(u\,\frac{\partial u}{\partial x} + v\frac{\partial u}{\partial y} = \frac{-\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x}[(\mu\ +\ \mu t)\frac{\partial u}{\partial x}] + \frac{\partial}{\partial y}[(\mu\ +\ \mu t)\left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x}\right)] \quad (7)$$

Direction y:

$$\rho\,(u\,\frac{\partial u}{\partial x} + v\frac{\partial u}{\partial y} = \frac{-\partial p}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x}[(\mu +\ \mu t)\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x}] + \frac{\partial}{\partial y}[(\mu\ +\ \mu t)\left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x}\right)] \quad (8)$$

Le modèle de turbulence utilisé est le modèle k-epsilon donné par les équations (9 ;12) [28]

$$\rho(u \cdot \nabla)k = \nabla \cdot \left[\left(\mu + \frac{\mu_T}{\sigma_k}\right)\nabla k\right] + P_k - \rho_\varepsilon \quad (9)$$

$$\rho(u \cdot \nabla)_\varepsilon = \nabla \cdot [(u + \frac{\mu_T}{\sigma_{\ e}})\nabla_\varepsilon] + C_{e1}\frac{\varepsilon}{k}p_k - C_{e2}\rho\frac{\varepsilon^2}{k} \quad (10)$$

$$\mu_T = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (11)$$

$$P_k = \mu_T[\nabla_u : (\nabla_u + (\nabla u)^T)] \quad (12)$$

$$C_{\varepsilon 1} = 1.44, C_{\varepsilon 2} = 1.92, \sigma_k = 1.0, \sigma_\varepsilon = 1.3 \text{ et} C_\mu = 0.09$$

L'équation de L'énergie :

$$\rho C_p u \cdot \nabla T(x,y) = \nabla \cdot (q) \quad (13)$$

Tel que q représente le flux conductif donné par la loi de Fourier selon la relation suivante :

$$q = k_{cond} \nabla T \quad (14)$$

Ou k_{cond} représente la conductivité thermique

La puissance électrique produit par le module photovoltaïque est estimée comme suit :

$$P_{el} = \eta_{cs} \cdot G \cdot \alpha_{cs} \cdot \tau_v \cdot A_{cs} \quad (15)$$

La chaleur thermique récupérer par le capteur estimé comme suit :

$$P_{th} = m \cdot C_p (T_s - T_e) \quad (16)$$

Le rendement thermique du module peut également estimer comme suit

$$\eta_{th} = \frac{m \cdot C_p \cdot (T_s - T_e)}{G \cdot A_{cs}} \quad (17)$$

Echange de chaleur sur la surface supérieure de la couche du verre :

$$Q = h_c(T_v - T_a) + \sigma \cdot \varepsilon \cdot F({T_v}^4 - {T_c}^4) \quad (18)$$

Ou F=1 et σ : constante de Stefan-Boltzmann($5.67 \times 10^{-8} W/m^2.k$)

Le coefficient de transfert de chaleur par convection h_c est estimé comme suit:

$$h_c = 5.80 + 4.07w \quad (19)$$

Pour caractériser le régime turbulent, la vitesse d'entre est calculer à partir du nombre de Reynolds selon la formule empirique.

$$Re = \frac{\rho \cdot V_e \cdot D_h}{\mu} \quad \text{et} \quad D_h = \frac{4 \cdot S}{p} \quad (20)$$

Conditions aux limites :

Couche supérieure (verre): convection + rayonnement (**équation 18**)

Entrée : une vitesse et une température d'entrée sont imposées

Sortie : pression Ps nulle

Paroi adiabatique : toutes les autres parois sont considérées adiabatiques

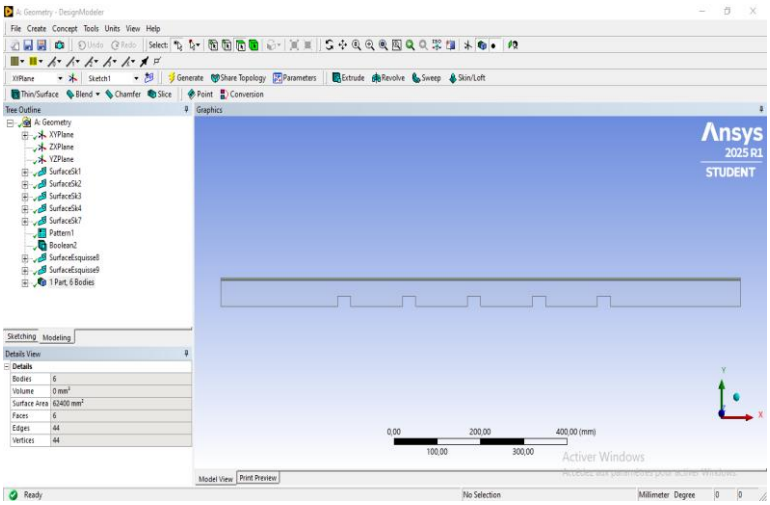
II.4 Modélisation numérique :

Au cours des dernières années, les avancées technologiques en matière de puissance de calcul et de méthodes numériques ont rendu possible la simulation d'écoulements complexes. Ces simulations tiennent compte de phénomènes physiques comme la viscosité et la turbulence, ce qui permet une modélisation plus réaliste. Ainsi, la dynamique numérique des fluides (CFD) est devenue un outil incontournable pour concevoir, analyser et optimiser divers procédés industriels.

Le logiciel **ANSYS Workbench** est une platform de simulation numérique largement utilisée dans le domaine de l'ingénierie. Il permet d'effectuer des analyses multiphasiques, incluant la mécanique des fluides (CFD). Workbench facilite l'intégration des différentes étapes de la simulation telle que, la création de la géométrie, maillage du domaine de calcul puis la simulation dans fluent.

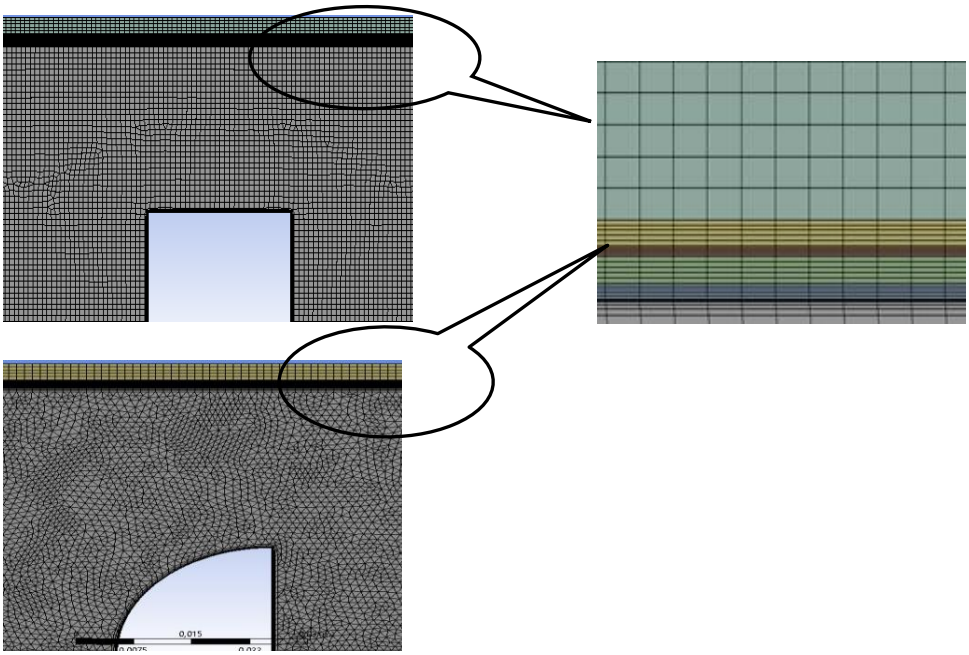
II.4.1 Présentation de design modeler pour la modélisation géométrique :

Le module **Design Modeler** a été utilisé pour créer la géométrie du système étudié. Ce module intégré à Workbench permet la conception et la modification de modèles 2D choisi. Il offre plusieurs fonctionnalités utiles pour générer des formes complexe adaptées à simulation représente



II.4.2 Maillage:

Le maillage est une étape essentielle dans la résolution numérique du problème étudié. Il permet de discrétiser le domaine géométrique un maillage structuré de type quadrilatéral (rectangulaire) a été utilisé pour les cinq couches constituant la partie supérieure du panneau.et pour le canal de refroidissement la **figureII.2** les maillages générer pours les configurations à chicane rectangulaire et quart de cercle.

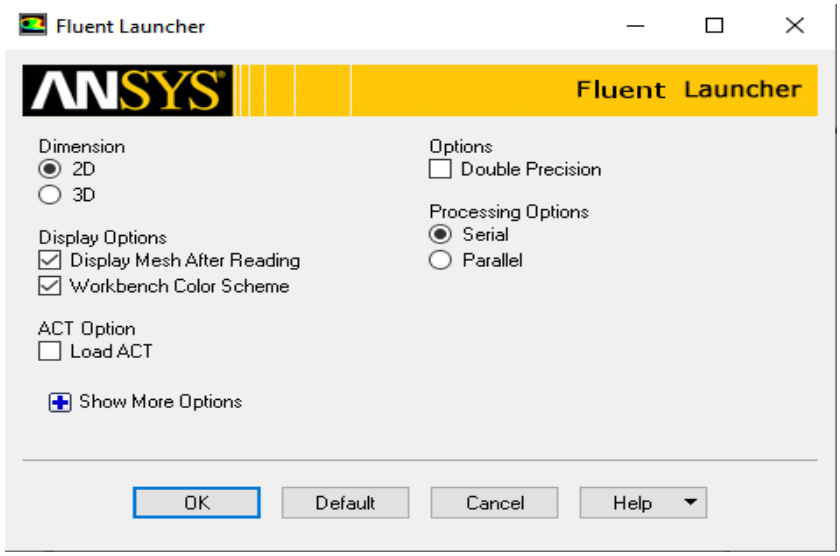


FigureII.2 : maillage des deux configuration avec zoom sur les couches solides

II.4.3 Simulation dans fluent

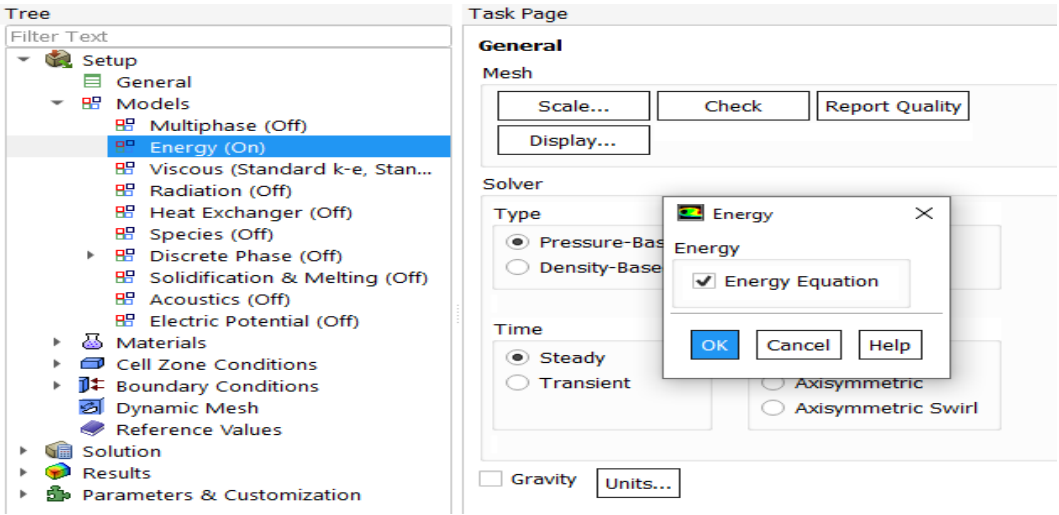
Pour simuler le problème du refroidissement du panneau photovoltaïque sous fluent les étapes nécessaires sont décrites ci-dessous :

- **Etape 1 Choix du solveur (Lancer Fluent)**



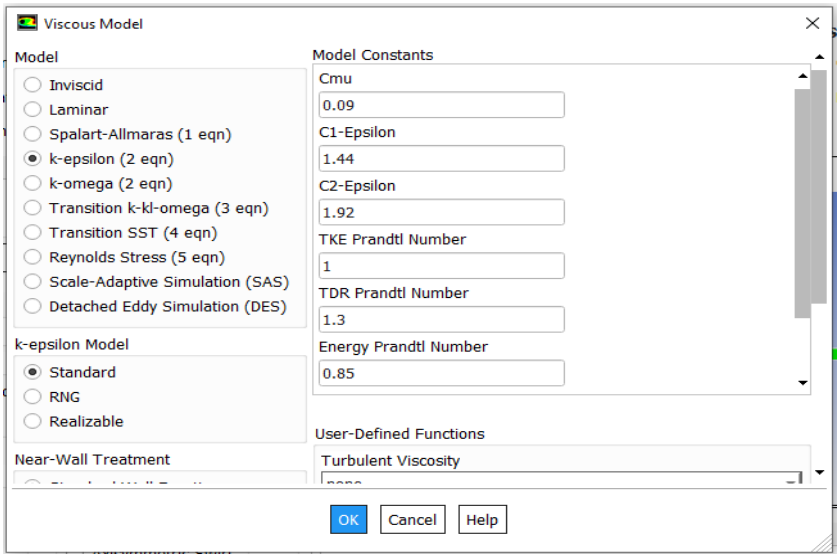
Cocher la case, 2D la dimension du problème étudié.

- **Etape 2 Choix l'équation de l'énergie :**



Cocher 'équation énergie' pour obtenir les résultats thermiques.

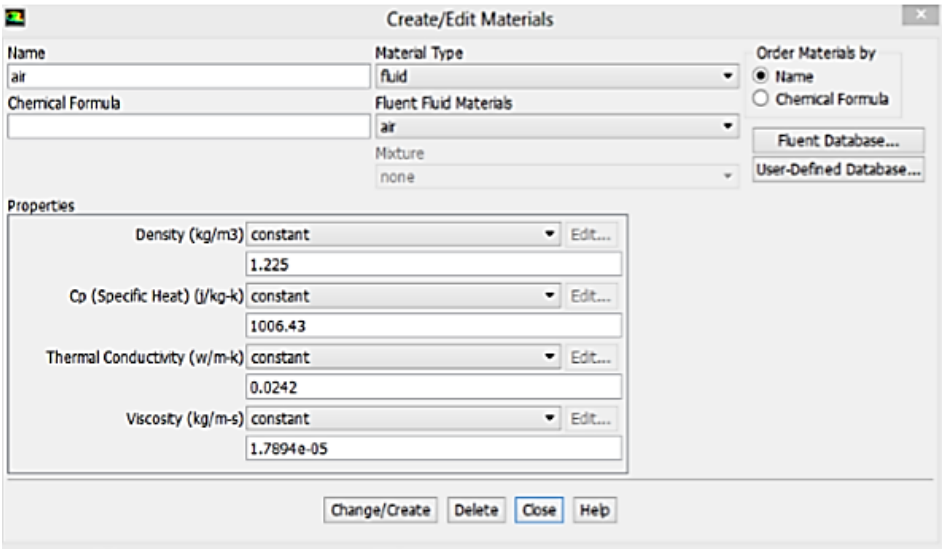
- **Etape 3 Choisir le type de l' écoulement**



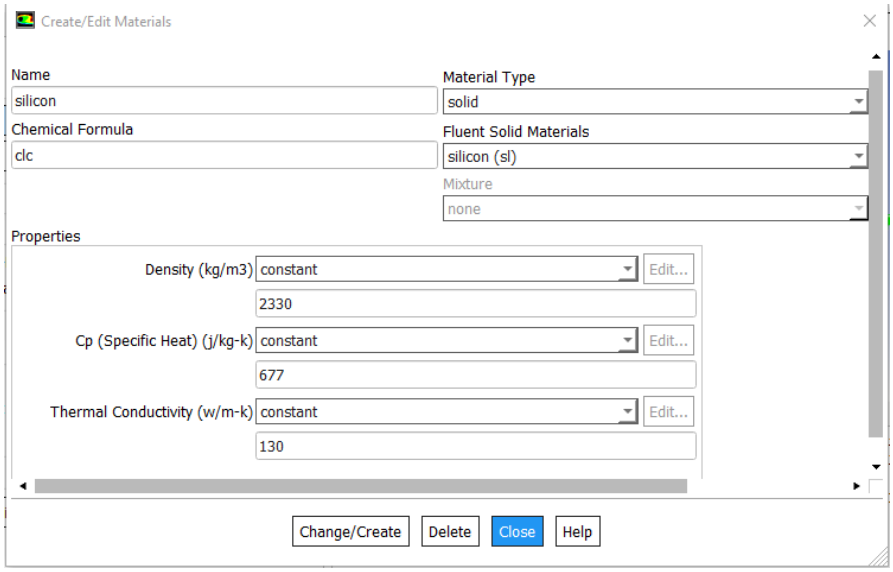
Choix du modèle de turbulence (le modèle k-epsilon) en gardant les constantes du modèle par défaut.

- **Etape 4: Définition des propriétés du fluide**

L'air est choisi comme fluide de refroidissement.

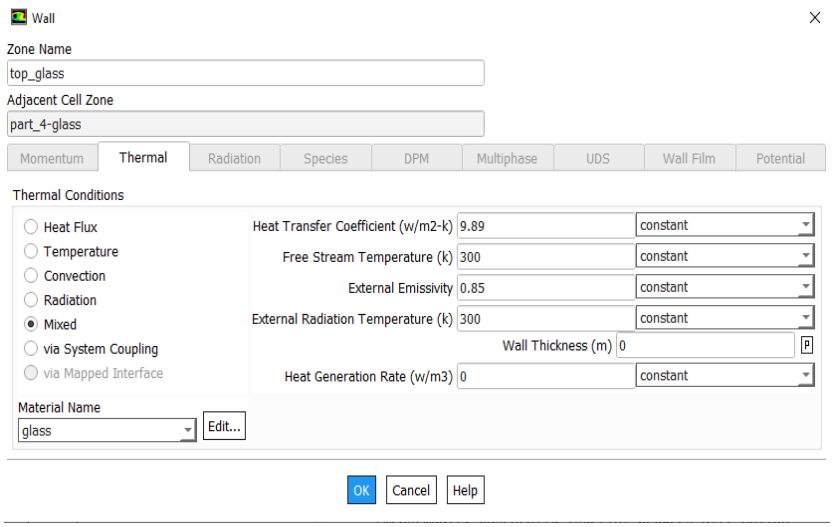


- **Etape 5 Définition des propriétés des solides**



Les propriétés thermiques (la densité, chaleur spécifique et conductivité thermique) des différentes couches de la cellules photovoltaïque ne sont pas incluses par défaut, il faut donc les créer en enregistrer. Dans celles zones, prendre chaque couche solide séparément et lui attribuer ces propriétés appropriées.

- **Etape 6 Appliquer les condition aux limites :**



On impose les différentes conditions aux limites du problème, selon les différents cas étudiés.

Pour le fluide on a les conditions d'entrés et sortie (températures, vitesses et pression), pour les solides ou parois on a, les température et flux (adiabatique, mixtes)

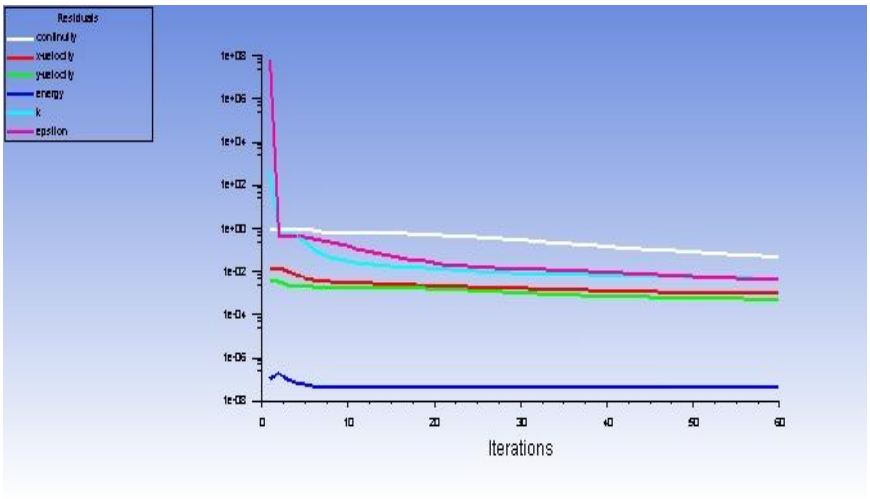
- **Etape 7 Initialisation et Calcul :**

Initialisation.

Définir le nombre d'itérations.

Lancement du calcul (Run Calculation).

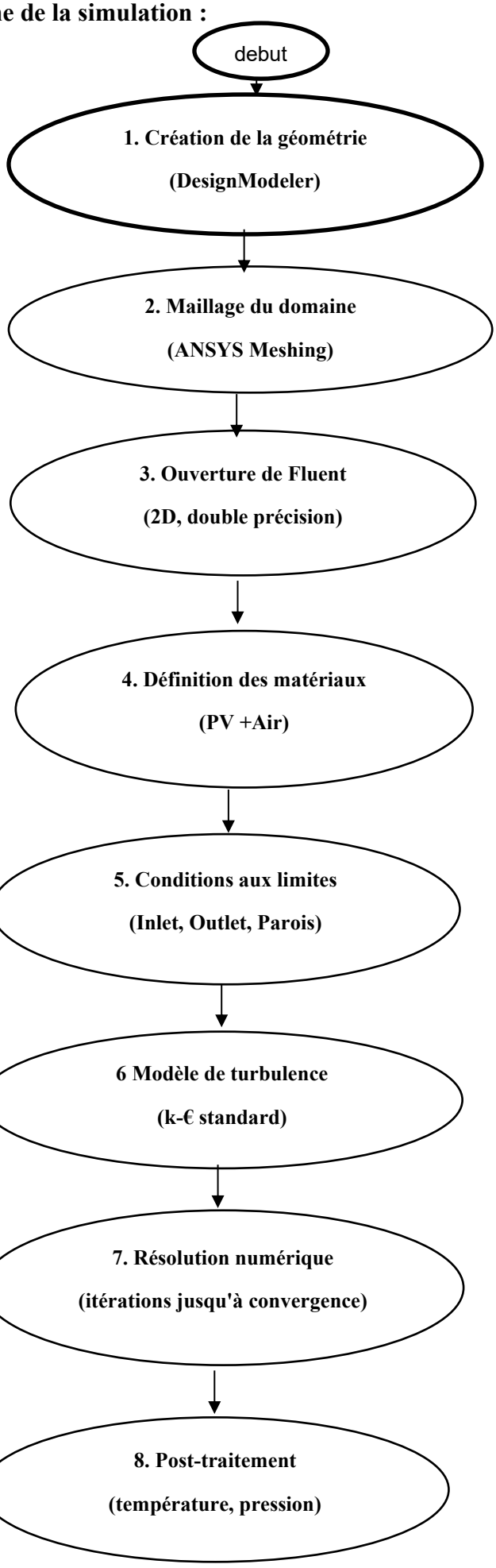
Surveiller la convergence.



II.5 Consistance du maillage

Le choix du nombre d'éléments ou nouds adopté était basé sur la variation de la température de la cellule photovoltaïque. Le type de maillage pour les différentes couches solides choisi est de type quadrilatéral alors que dans le cas du canal avec des chicanes rectangulaires et le quart de cercle est type rectangulaire et triangulaire respectivement. Après plusieurs tests le nombre d'éléments retenus est 97775 et 160590 respectivement.

II.6 L’organigramme de la simulation :



CHAPITRE III

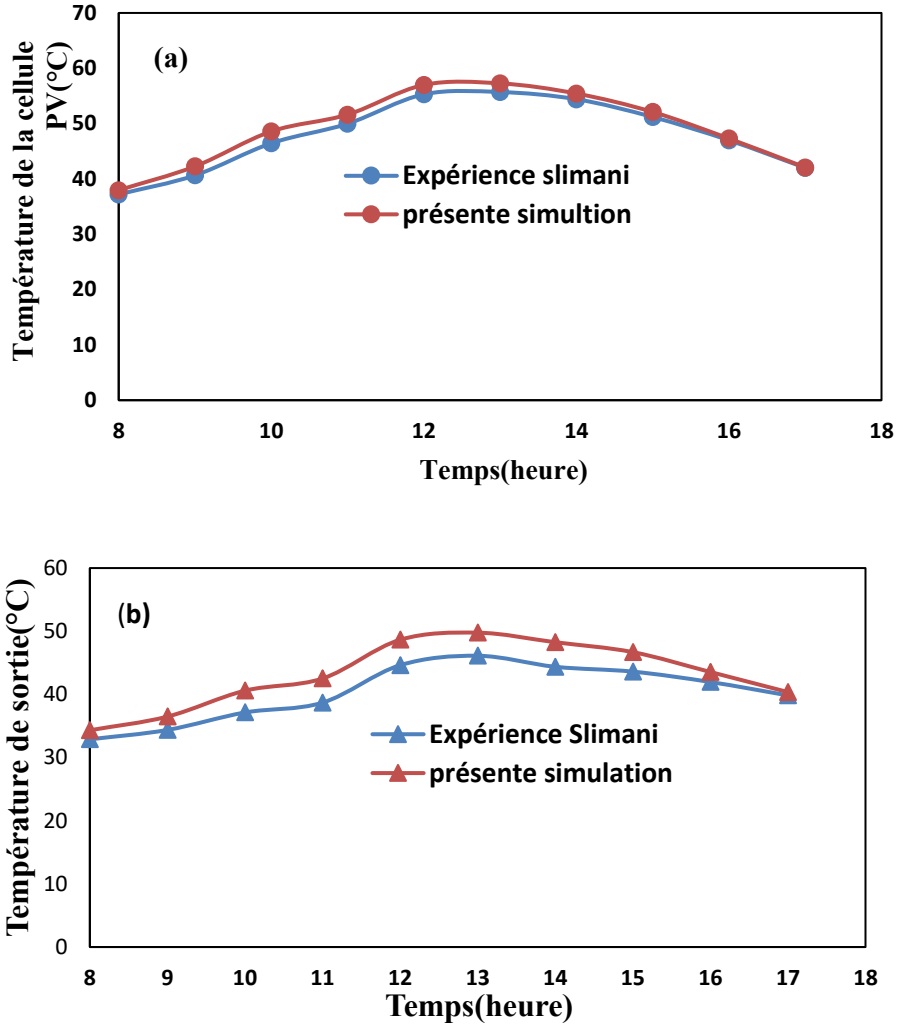
RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

III.1Introduction :

Ce chapitre est consacré à la présentation détaillée des résultats de la simulation numérique sous Fluent du refroidissement d'un panneau photovoltaïque (PV) à l'aide d'un canal muni d'un certains nombres de chicanes. Nous allons examiner les performances du Refroidissement pour deux géométries Différentes, en fonction de la vitesse de l'air, du Rayonnement solaire incident et de la température ambiante. Cette étude vise à évaluer L'impact de ces paramètres sur l'efficacité du refroidissement et à déterminer les conditions optimales pour améliorer les performances du système.

III.2 Validation du modèle numérique :

Les résultats du modèle thermique issu de la simulation sont présentés en termes de variations temporelles des températures de la cellule photovoltaïque et de l'air à la sortie, sont illustrés dans **la figureII.3** la comparaison des résultats numériques de la présente étude et expérimentales de SLIMANI et al. [37] sont en très bon accord.



FigureIII.1 : Variation temporelle des températures de la cellule photovoltaïque(a) et de l'air à la sortie(b). Pour une vitesse w =1m/s. V_{in} et G variant en fonction du temps

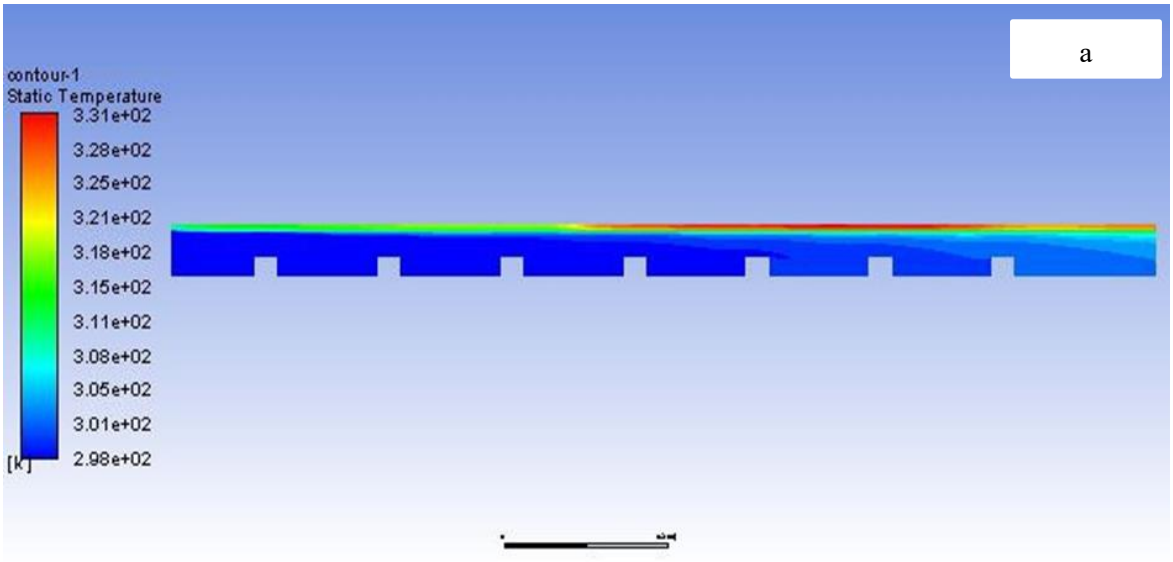
III.3 Canal a sept chicanes :

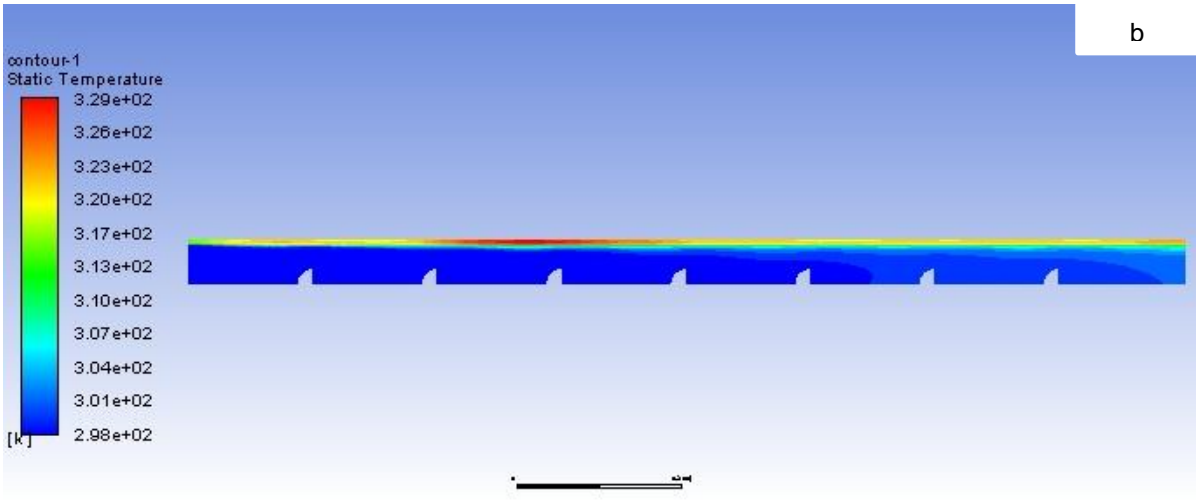
III.3.1 Cartographie de l'écoulement :

Dans le cadre de cette étude et dans le but de bien comprendre les phénomènes thermiques et hydrodynamiques à l'intérieur du canal de refroidissement du panneau photovoltaïque pour les deux configurations (cas 1 et 2), des contours de différents champs de vitesse, de pression, de température et de l'énergie cinétique turbulente (TKE) seront présentés ci-dessous. Les paramètres d'entrée (input) sont fixés à G=1000W /m^2, Ta=300K, w=1m/s, Te=298K et une vitesse d'entrée de l'air choisie pour cette étude égale à 2.5m/s.

La figure III.2 représente les contours de températures pour les cas1 et cas2.

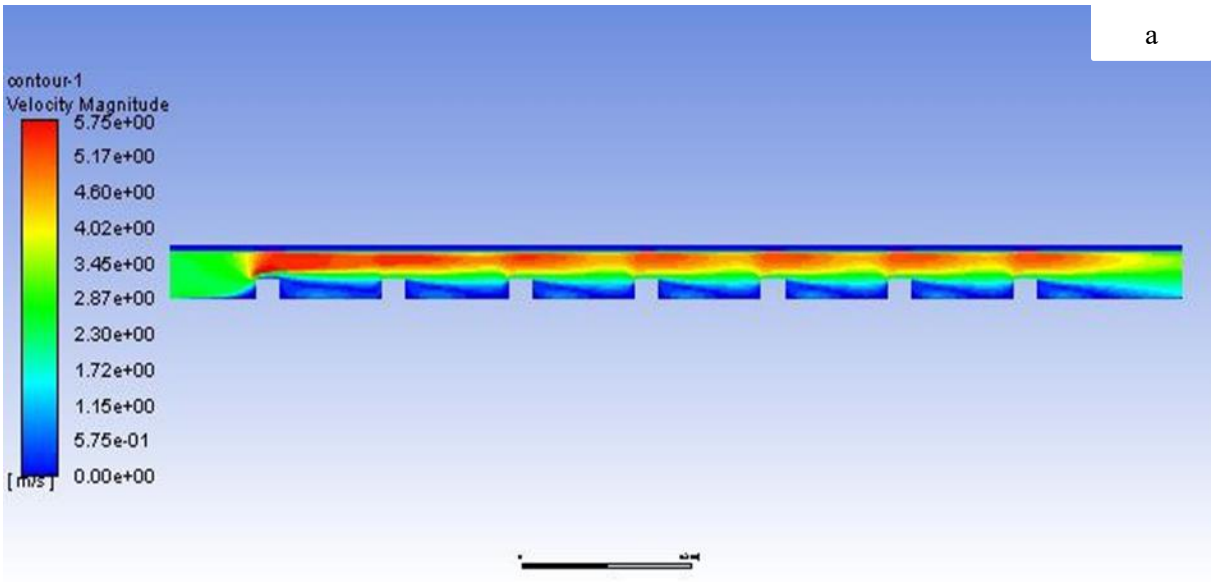
En analysant les deux figures, on constate que la température maximale atteint environ 329K dans les deux cas, mais la répartition de cette chaleur diffère nettement. Dans le cas 1, les températures élevées se concentrent dans les couches solides du panneau PV, en particulier vers l'extrémité droite, ce qui indique une accumulation de chaleur et une performance de refroidissement insuffisante. En revanche, dans le cas 2, la même valeur maximale de température est présente, mais elle est répartie de manière plus homogène. Des températures plus basses apparaissent sur une plus grande surface du canal, traduisant une amélioration notable du transfert thermique et de l'efficacité du refroidissement. Cette différence dans la distribution thermique montre que la forme courbée des chicanes permet un meilleur mélange de l'air et limite l'accumulation de chaleur par rapport à la forme rectangulaire.

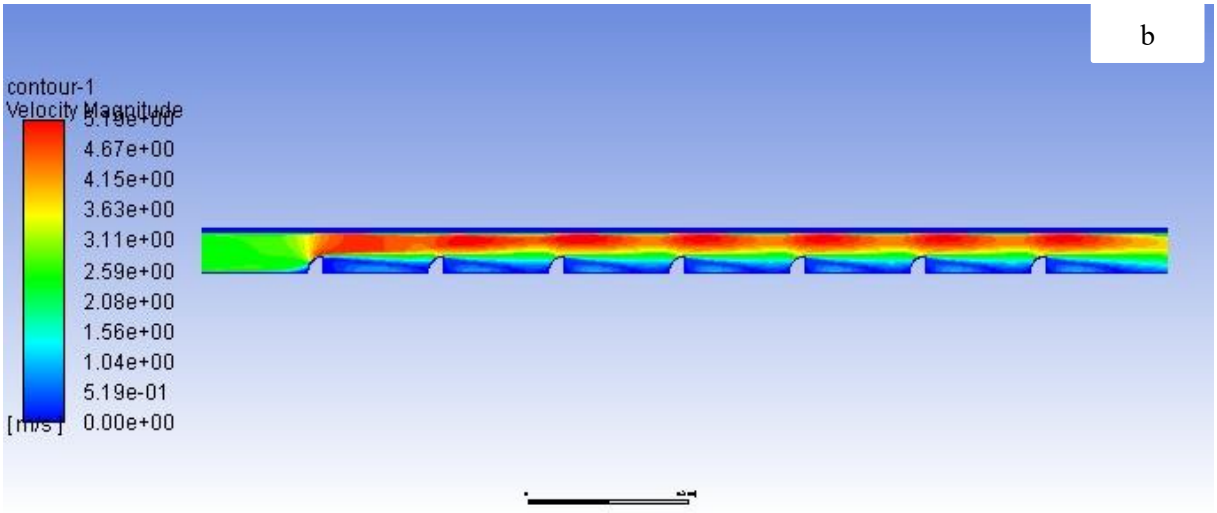




FigureIII.2 : contours des températures à Ve=2.5m/s, a) cas 1, b) cas2

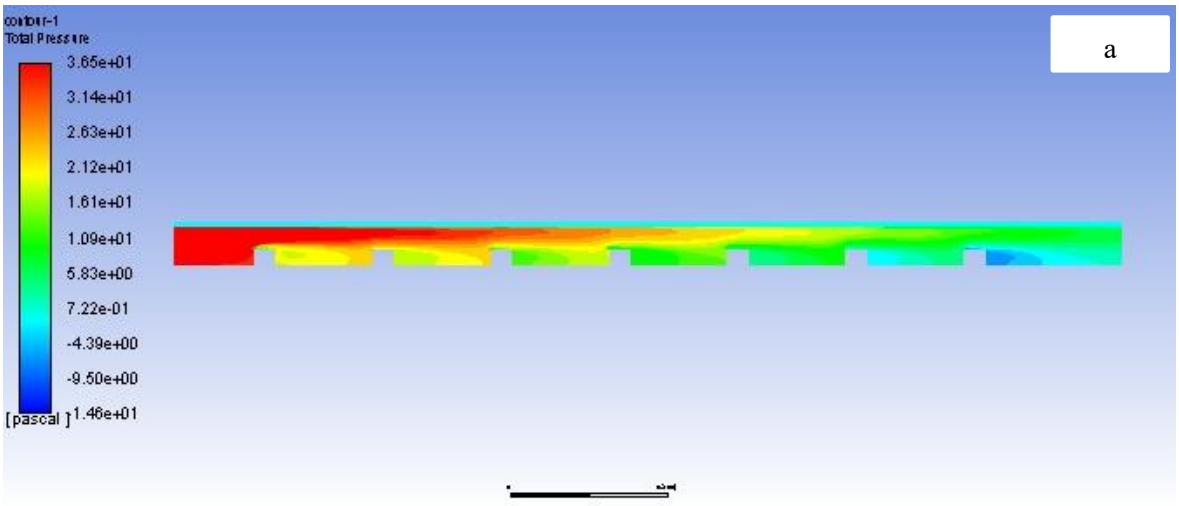
La figure III.3 représente les contours de la vitesse de l'air, ou on peut observer des différences dans la distribution de la vitesse à l'intérieur du canal. Dans le cas1, l'écoulement de l'air semble plus régulier, avec une distribution plus homogène de la vitesse entre les nervures, ce qui reflète une plus grande fluidité de l'écoulement. En revanche, le cas2 montre une variation plus marquée des vitesses, peut-être dû à la forme courbée des nervures sur le comportement de l'écoulement, créant des zones de basse pression et des tourbillons locaux modifiant la trajectoire du flux. La présence des chicanes joue un rôle essentiel dans le pilotage de l'écoulement, et leur forme géométrique conditionne fortement la répartition des vitesses.

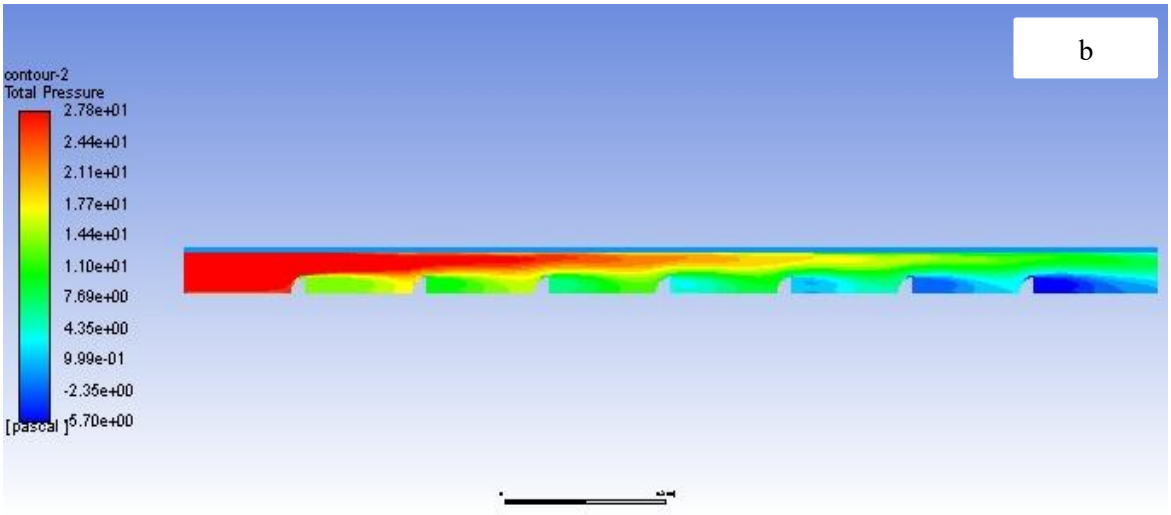




FigureIII.3 : Contours des vitesses à Ve=2.5m/s, a) cas 1, b) cas2

La figure III.4 représente l'étude des contours de la pression totale pour les deux configurations montre une importante différence en termes de comportement de l'écoulement. Dans le premier cas, on observe une diminution irrégulière de la pression totale, avec des chutes marquées au niveau des obstacles. En revanche, dans le deuxième cas, la baisse de la pression totale est plus progressive et uniforme sur toute la longueur du canal. Ce comportement indique un écoulement plus stable, avec des pertes de charge mieux réparties.





FigureIII.4 : contours des pressions à Ve=2.5m/s, a) cas 1, b) cas2

La figure III.5 on remarque que dans le cas1, l'énergie cinétique turbulente est plus élevée avec des pics localisés juste après chaque obstacle, ce qui traduit la présence de zones de turbulence intense mais peu réparties. Cela peut entraîner un refroidissement non uniforme de la cellule PV. En revanche, dans le cas2, bien que les valeurs maximales de turbulence soient plus faibles, leur distribution est plus homogène tout au long du canal. Ce comportement favorise un écoulement plus stable et un refroidissement plus régulier de la cellule. Ainsi, bien que cas1 montre une turbulence plus forte localement, le cas2 offre une meilleure efficacité globale grâce à une répartition plus équilibrée de l'énergie turbulente.

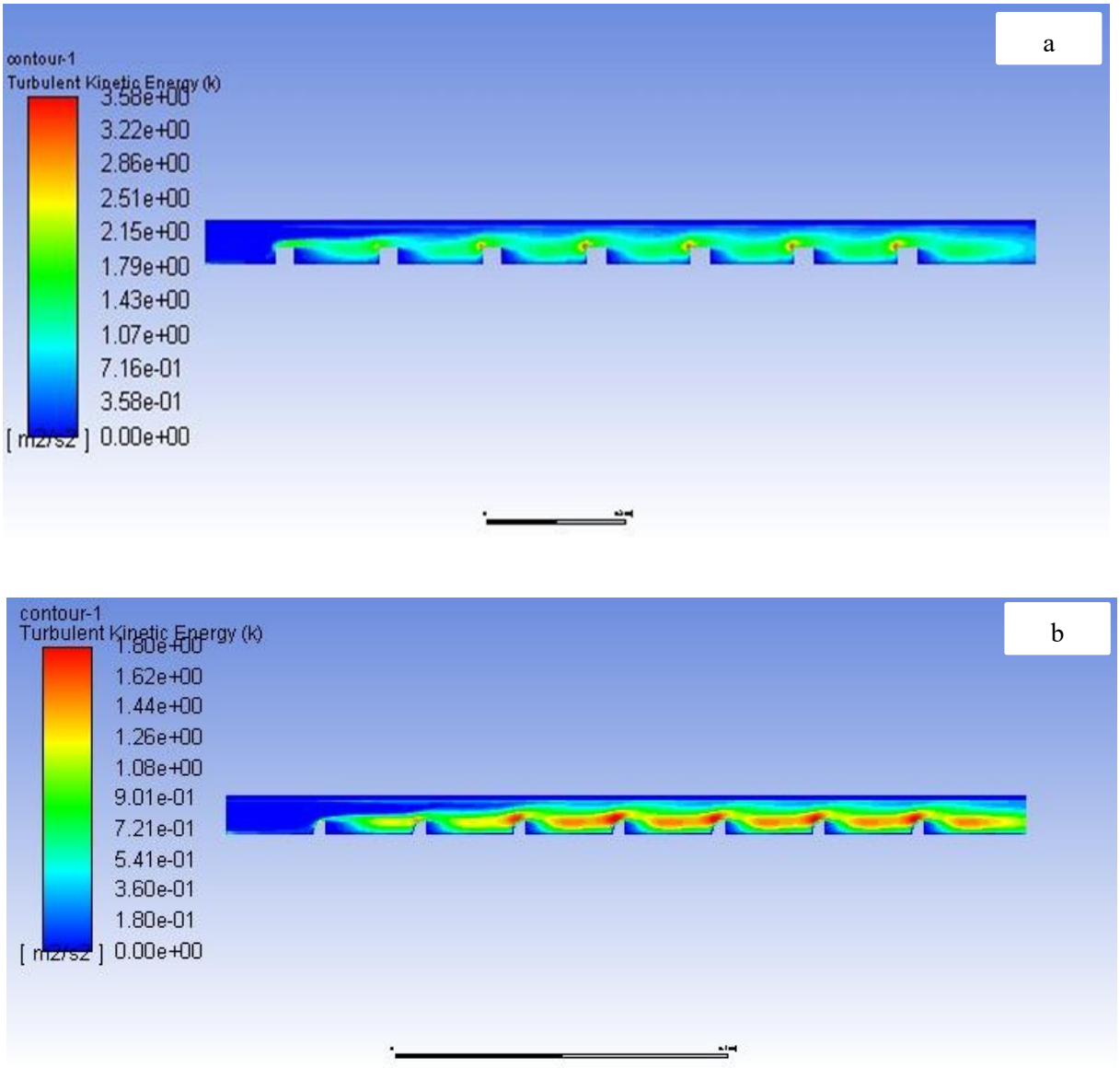


Figure III.5 :contours de l'enrgie cinetique turbulente a) cas 1 ; b) cas 2

III.3.2 Influence de la vitesse d'entrée :

L'effet de la vitesse de l'air à l'entrée du canal sur la performance du système PV est étudié pour trois cas différents. La vitesse du vent et le rayonnement solaire et la température ambiante et la température d'entrée sont respectivement fixés à 1m/s ,1000w/m^2, 300Ket 298K.

La figure III.6 (a ; b) représente l'influence de la vitesse d'entrée de l'air sur les températures de la cellule photovoltaïque et de l'air à la sortie. Pour les trois cas on remarque que les deux températures diminuent avec l'augmentation de la vitesse d'entrée.

Dans le cas2, on remarque une différence de température de la cellule presque constante, d'environ 18K par rapport au cas0, et dans le cas1 elle varie de 5K à18K par rapport au cas0, et ce, pour des vitesses d'entrée comprise entre 0.5 et 3m/s. La présence des chicanes génère de larges zones de recirculation **(figure III.5)** permettent à l'air refroidi situer au fond du canal d'être partialement réinjecté vers le haut pour extraire la chaleur de la cellule PV. Cela améliore le transfert thermique global dans le canal, ce qui entraine une élévation de l'air à la sortie. Les chicanes rectangulaires ont également permis une amélioration du transfert thermique par rapport au cas0 (sans chicanes), mais n'ont pas la même efficacité que les chicanes quartes de cercle.

Pour une vitesse d'entrée 0.5m/s, la différence de température de l'air à la sortie du canal entre le **cas1** ou cette dernière est plus élevée et le **cas0** est d'environ 8K. elle diminue au fur à mesure que la vitesse augmente jusqu'à 2.5m/s. au-delà de cette valeur, les températures sont presque égales.

Contrairement au cas0 et cas2, les deux températures sont presque égales pour une vitesse d'entrée de 0.5m/s puis augmente au-delà de cette valeur.

Comme montrer sur **la figure III.7 (a ; b)** une bonne performance électrique est obtenue pour le cas2 présentant la plus faible température de la cellule. Le rendement électrique augmente avec la diminution de la température de la cellule dans les trois cas.

Le rendement thermique était plus élevé dans le cas1, ce qui s'explique par une température de l'air à la sortie plus élevée que dans les deux autres cas.

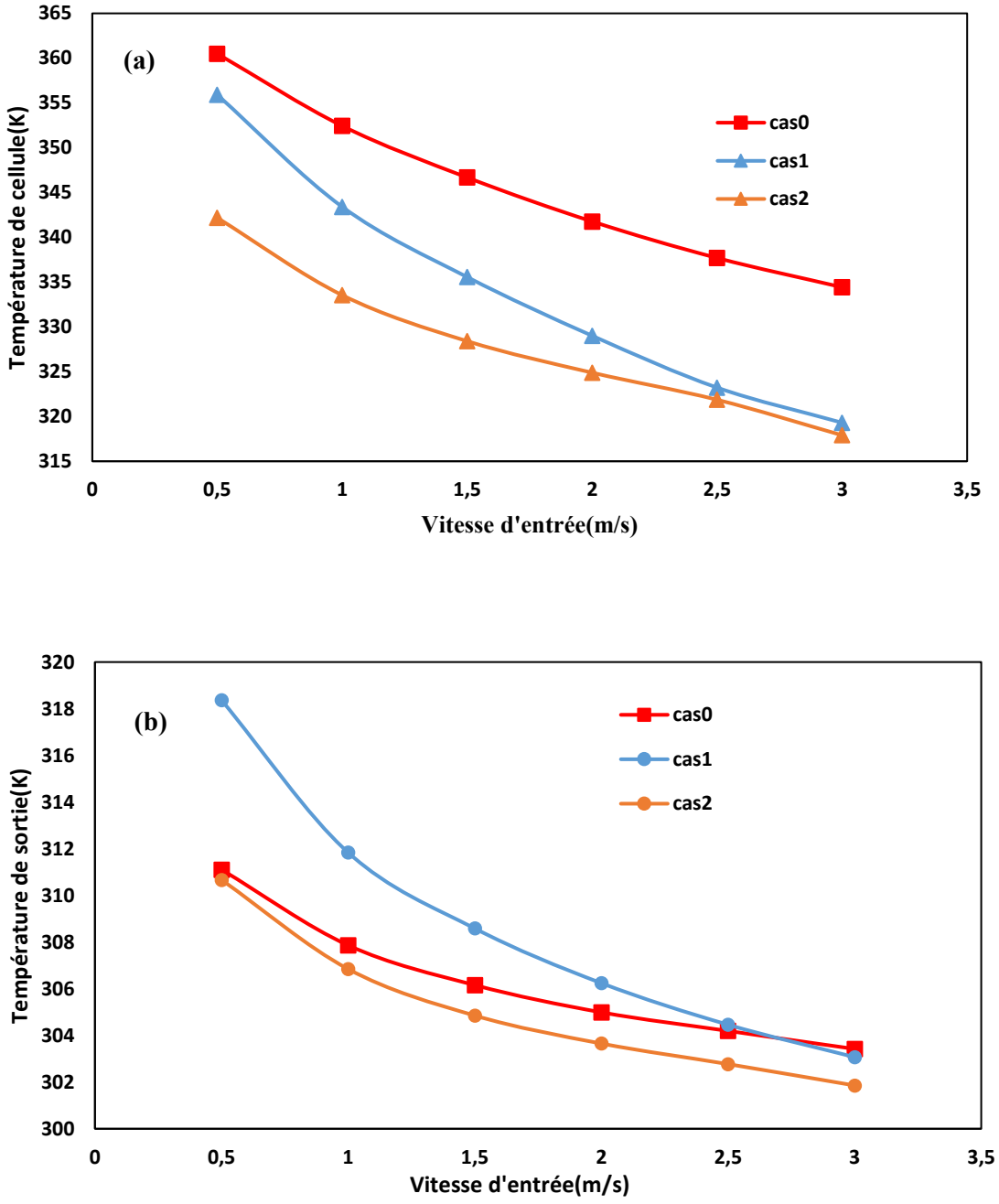
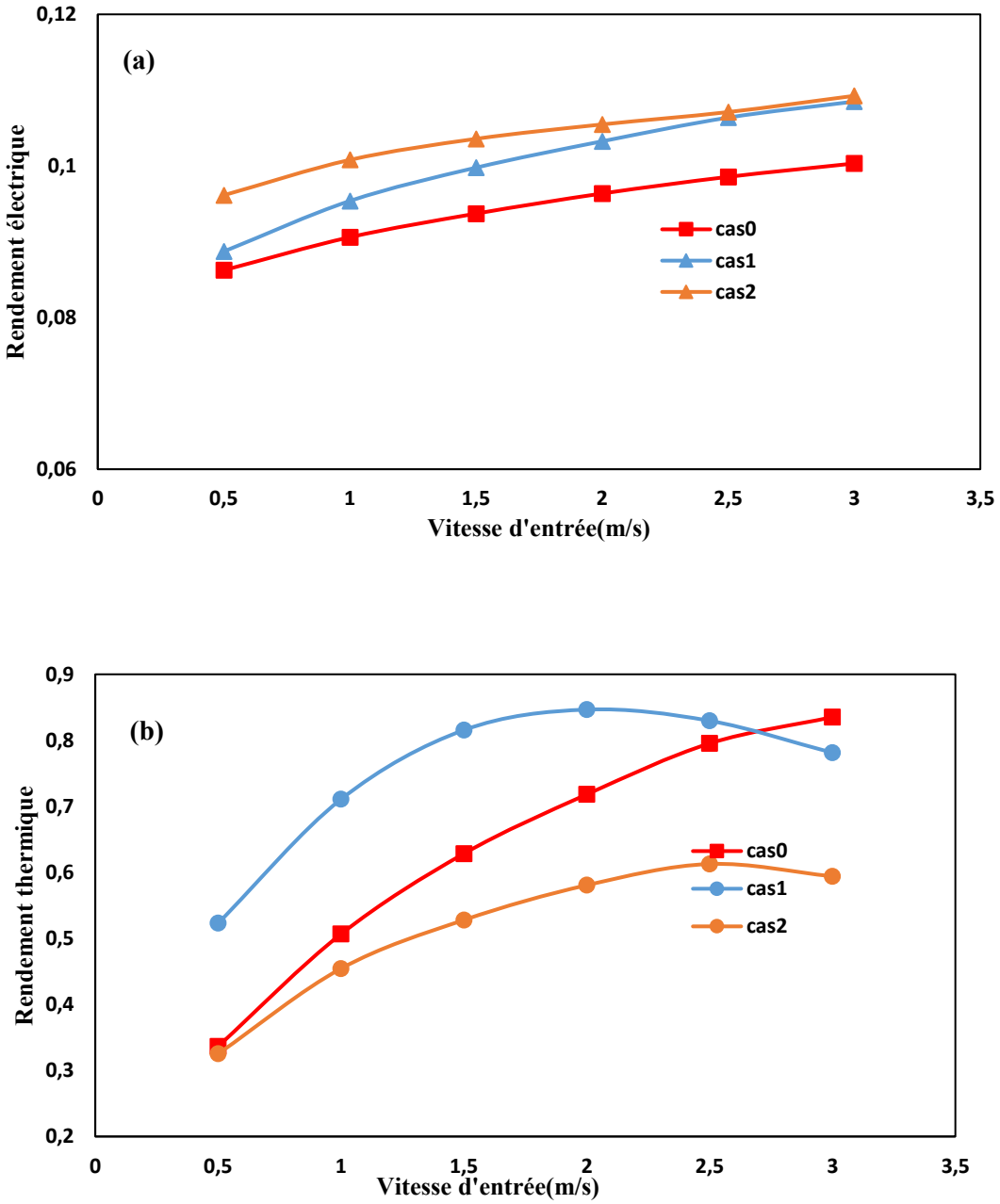


Figure III.6: influence de la vitesse sur a) la température de la cellule b) température de sortie



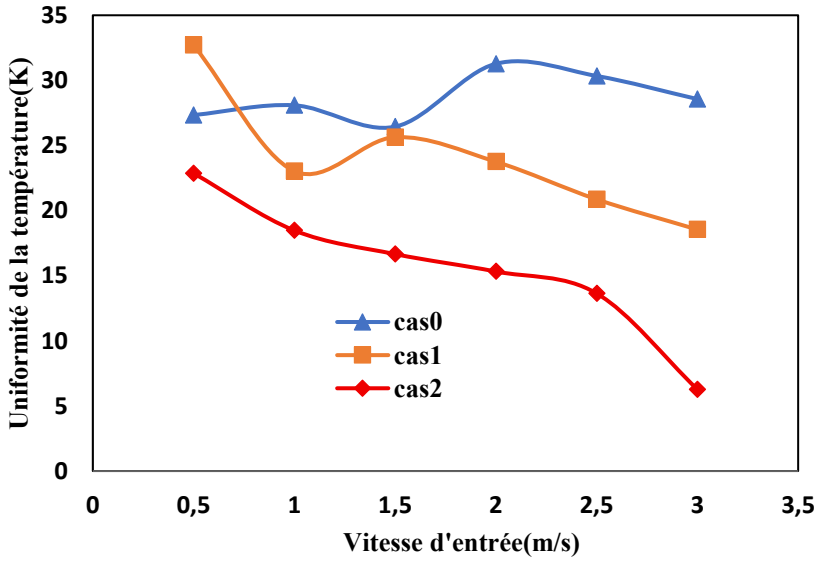
FigureIII.7: influence de la vitesse sur a) le rendement électrique b) le rendement thermique

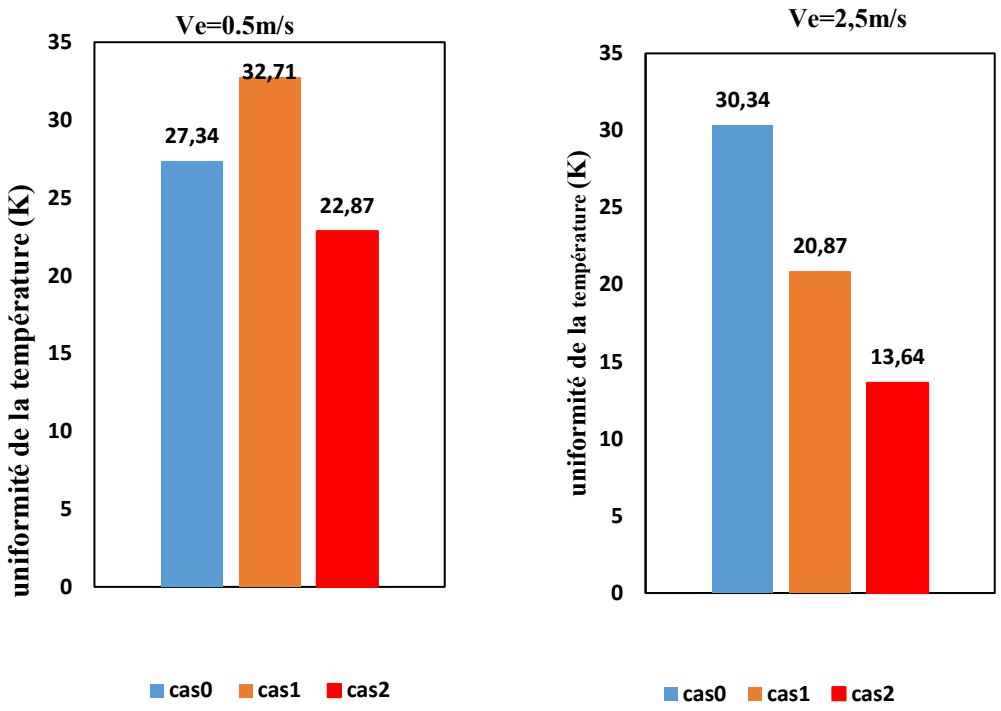
III.3.3: L'uniformité de la température :

L'uniformité de la température définie comme une déférence de température entre le maximum et le minimum de la température de la cellule PV (ΔT=Tmax-Tmin), est essentiel pour éviter les zones de surchauffe locale (hotspot), allonger la durée de vie du panneau et améliorer le rendement global.

L'uniformité en fonction de la vitesse d'entrée du fluide est représentée sur **la figureIII.8**

Généralement la température diminue avec l'augmentation de la vitesse dans le cas 1 et 2 se qui n'est pas observer pour le cas0. On remarque aussi que la bonne uniformité est obtenue dans le cas du canal avec des chicanes quartes de cercle (cas2) pour une faible et une grande vitesse ou elle atteint les valeur 22.87 et 13.64 K respectivement.





FigureIII.8 : variation de l'uniformité de la température

III.3.4 Influence de rayonnement :

La FigureII.9 (a ; b) montre l'effet de rayonnement sur la température de la cellule photovoltaïque (PV) et sur la température de l'air en sortie, ainsi que sur les rendements électrique et thermique, dans une configuration donnée avec une vitesse d'entrée d'air fixée à 0,5 m/s. le rayonnement constitue l'un des facteurs environnementaux les plus influents sur les performances des panneaux photovoltaïques.

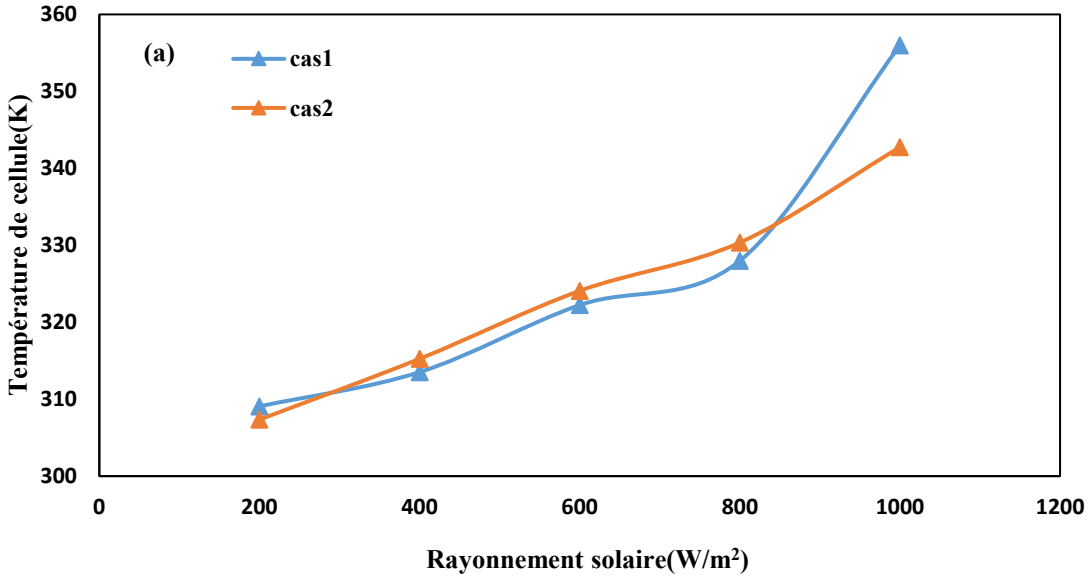
Lorsque rayonnement augmente de 200 W/m² à 1000 W/m², on observe une élévation progressive des températures de la cellule et de l'air. Dans un premier temps, c'est-à-dire entre 200 et 800 W/m², l'augmentation des températures est similaire dans les deux cas (cas 1 et cas 2), ce qui traduit un comportement thermique comparable. Cependant, à partir de 800 W/m², le cas 2 montre une hausse plus rapide des températures par rapport au cas 1, ce qui indique une diminution de l'efficacité du refroidissement dans cette configuration.

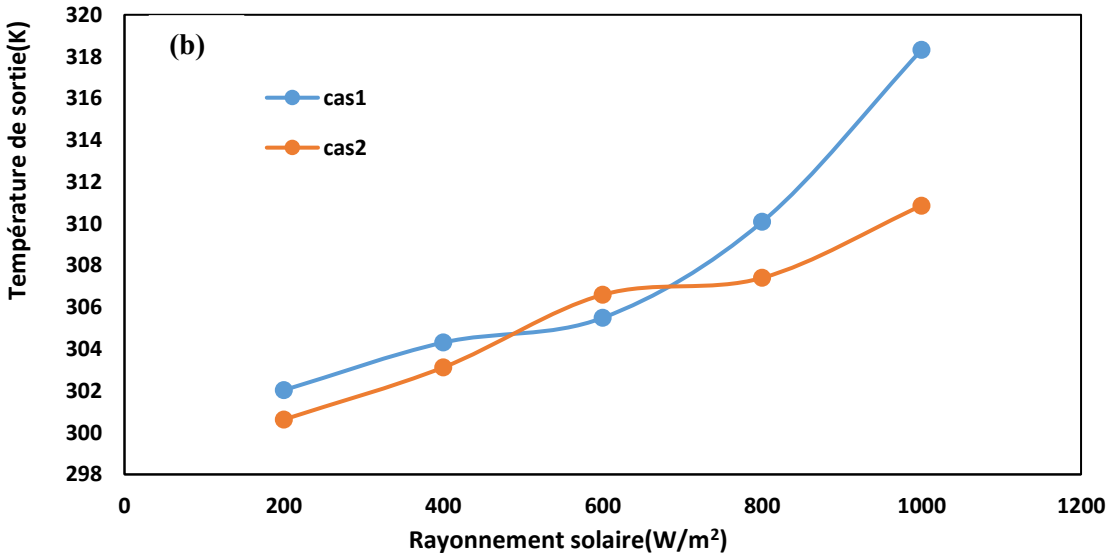
Le rayonnement maximal de 1000 W/m², la température de la cellule atteint environ 342K dans le cas 1, contre environ 355 k dans le cas 2, soit un écart de près de 13 k. Cet écart met en

évidence une meilleure gestion thermique dans le cas 1, notamment à forte irradiance, ce qui se traduit par de meilleures performances globales du système photovoltaïque.

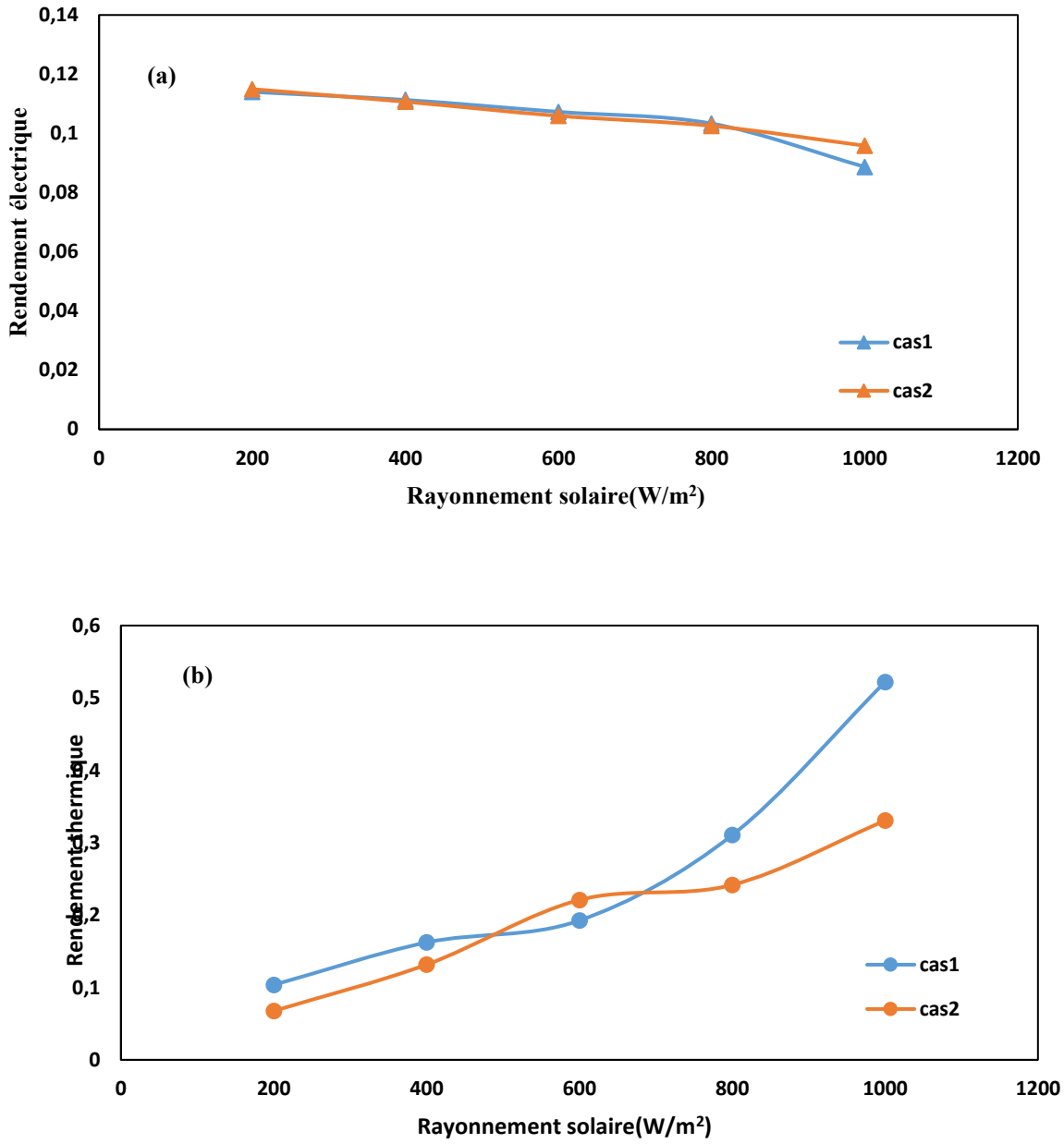
Ce que l'on observe sur **la figureII.10 (a ; b).** Que la variation des températures dans le système influence différemment le rendement thermique et le rendement électrique. Lorsque la température de l'air en sortie augmente, cela signifie qu'une partie de la chaleur absorbée par le panneau a été transférée à l'air, ce qui améliore le rendement thermique, car l'objectif du refroidissement est de récupérer le maximum d'énergie thermique.

Et l'élévation de la température de la cellule photovoltaïque a un effet négatif sur le rendement électrique. En effet, plus la cellule chauffe, moins elle est capable de convertir le rayonnement solaire en électricité.





FigureIII.9 : influence de rayonnement sur a) la température de la cellule b) température de sortie



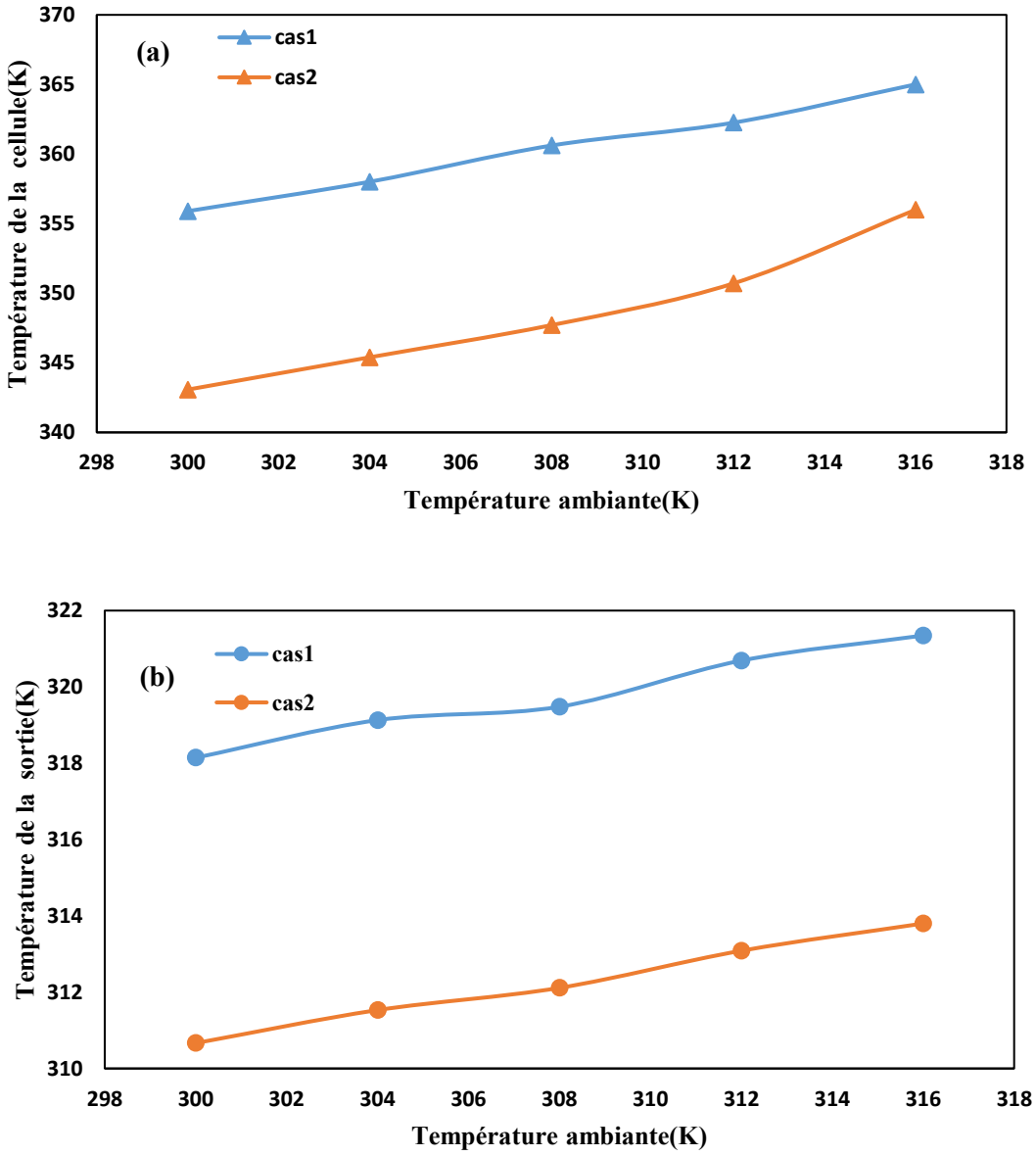
FigureIII.10 : influence de rayonnement sur a) le rendement électrique b) rendement thermique

III.3.5 Influence de la température ambiante :

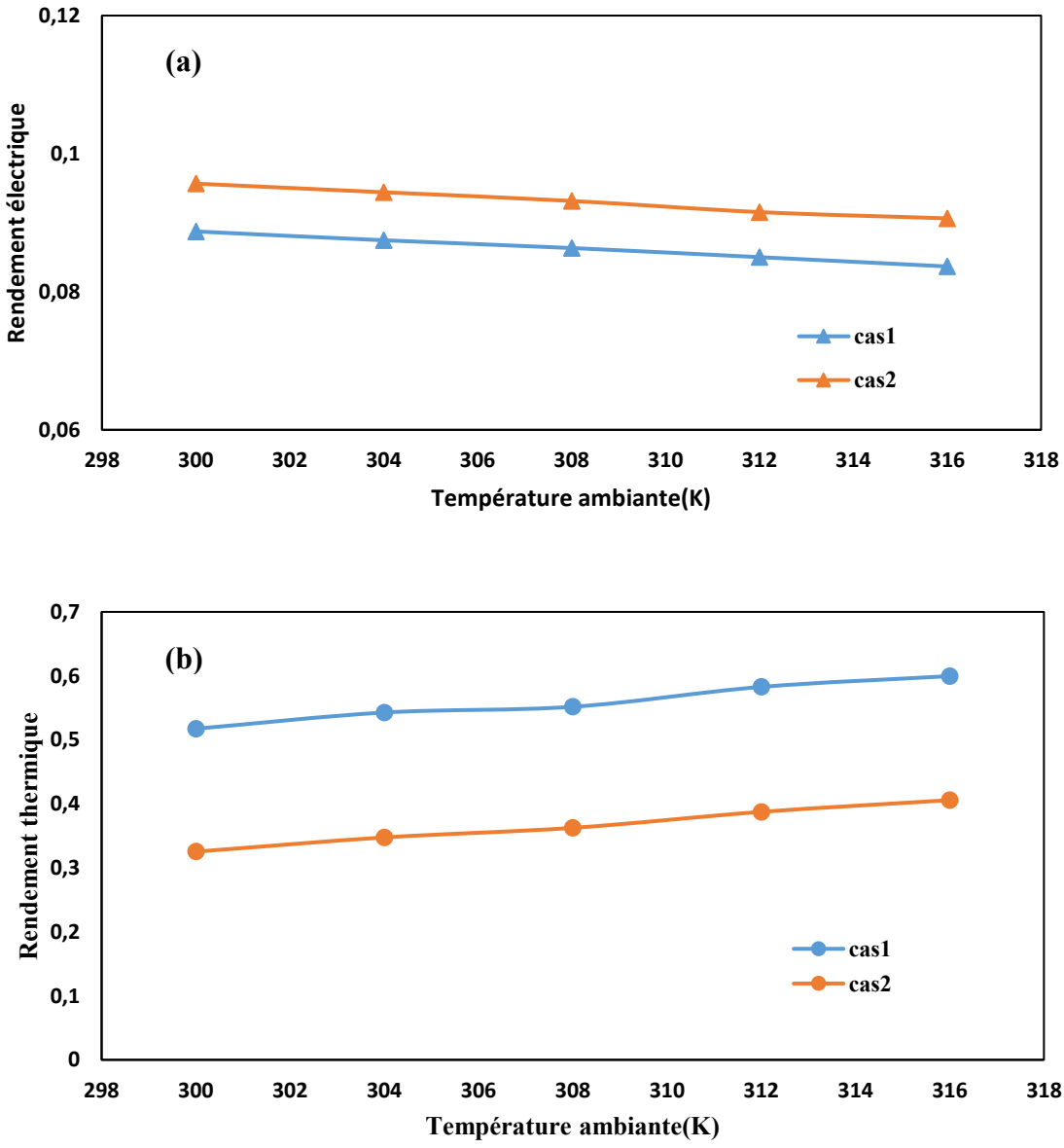
La figureIII.11 (a ; b) représente L'influence de la température ambiante sur la température de la cellule, la température de l'air à la sortie, ainsi que sur les rendements électrique et thermique est présentée dans **La figureIII.12 (a ; b)**, en fixant une vitesse d'entrée 0.5m/s, un rayonnement solaire de 1000 W/m², et une température d'entrée de 298 K. Les résultats montrent que lorsque la température ambiante augmente de 300 K à 316 K, la température de

la cellule photovoltaïque Tcs et celle de l'air en sortie augmentent également. Cela est dû à la diminution du gradient thermique entre la cellule et l'air ambiant, ce qui limite les échanges thermiques par convection et favorise l'accumulation de chaleur dans la cellule. Cette hausse de température a un impact négatif sur le rendement électrique. En revanche, le rendement thermique augmente, car une plus grande quantité de chaleur est récupérée par le fluide caloporteur.

En comparant les deux configurations, le Cas2 montre de meilleures performances thermiques et électriques que le Cas1.Cela s'explique par une meilleure distribution du flux d'air et une réduction des pertes de charge dans Cas2, ce qui améliore le refroidissement de la cellule. À l'inverse, Cas1 génère des zones de stagnation et des pertes hydrauliques plus importantes, réduisant ainsi l'efficacité globale du système. Par conséquent, le Cas2 s'avère plus performant, notamment dans des conditions où la température ambiante est élevée.



La figureIII.11 : influence de la température ambiante sur a) la température de la cellule b) température de sortie



La figureIII.12: influence de la température ambiante sur a) le rendement électrique b) rendement thermique

III.4 Influence de nombre de chicane :

La première partie portait sur le refroidissement par insertion de sept chicanes dans le canal. Pour mettre en évidence l'influence du nombre de chicanes, on présentera dans ce qi suit deux autres configurations avec les deux formes de chicanes qui sera comparée au cas simple. Les paramètres d'entrée sont fixés à un rayonnement G=1000W/m^2, une température d'entrée 298K, température ambiante 300K et une vitesse du vent 1m/s.

La figure III.13 représente la variation des températures des cellules PV et du rendement électrique en fonction de la vitesse d'entrée pour les sept configurations.

En considérant la géométrie du cas1, on remarque que le cas à trois chicanes présente la température de cellule la plus basse, ce qui indique une très bonne efficacité de refroidissement, alors que la température la plus haute est observée dans la configuration a sept chicanes.

À l'inverse, le cas2 à sept chicanes enregistre la température de cellule la plus basse, et la plus élevée pour le cas a trois chicanes.

Ainsi, on observe un compromis évident entre la réduction de la température de la cellule bénéfique pour le rendement électrique (fig. III.13b)

D'un autre côté pour (la figure III.14a), l'analyse de la température de l'air en sortie, qui reflète la quantité de chaleur récupérée par le système, montre une tendance presque opposée. Les configurations cas1 à sept chicanes et cas 2 a trois chicanes montrent les températures de sortie les plus élevées, indiquant une meilleure récupération de chaleur et donc une performance thermique plus élevée (figure III.14b).

Cela souligne l'importance de choisir la configuration en fonction de l'objectif principal du système, qu'il s'agisse d'optimiser la production électrique ou la récupération de chaleur.

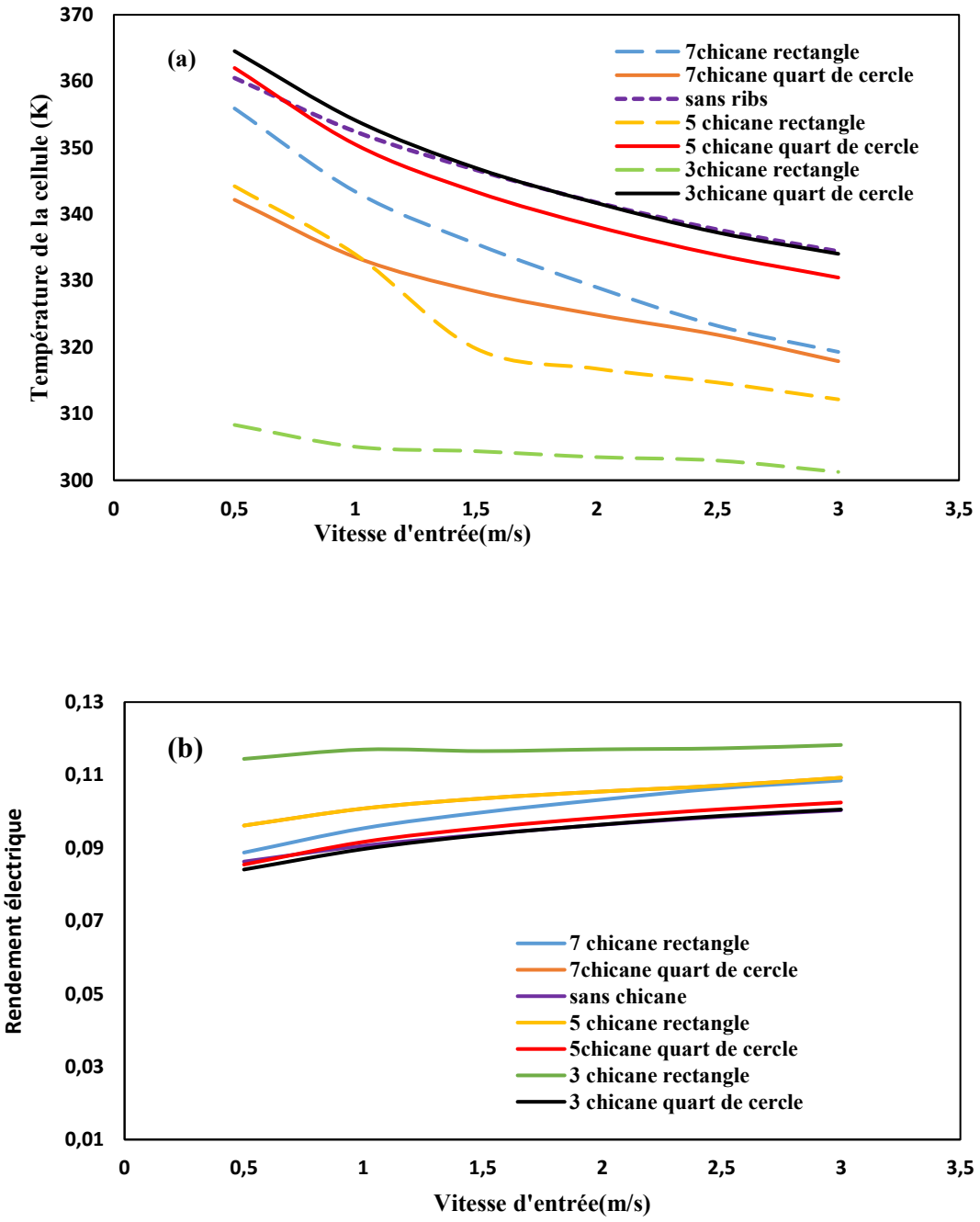


Figure III.13: influence de nombres de chicane a) température de la cellule b) rendement électrique

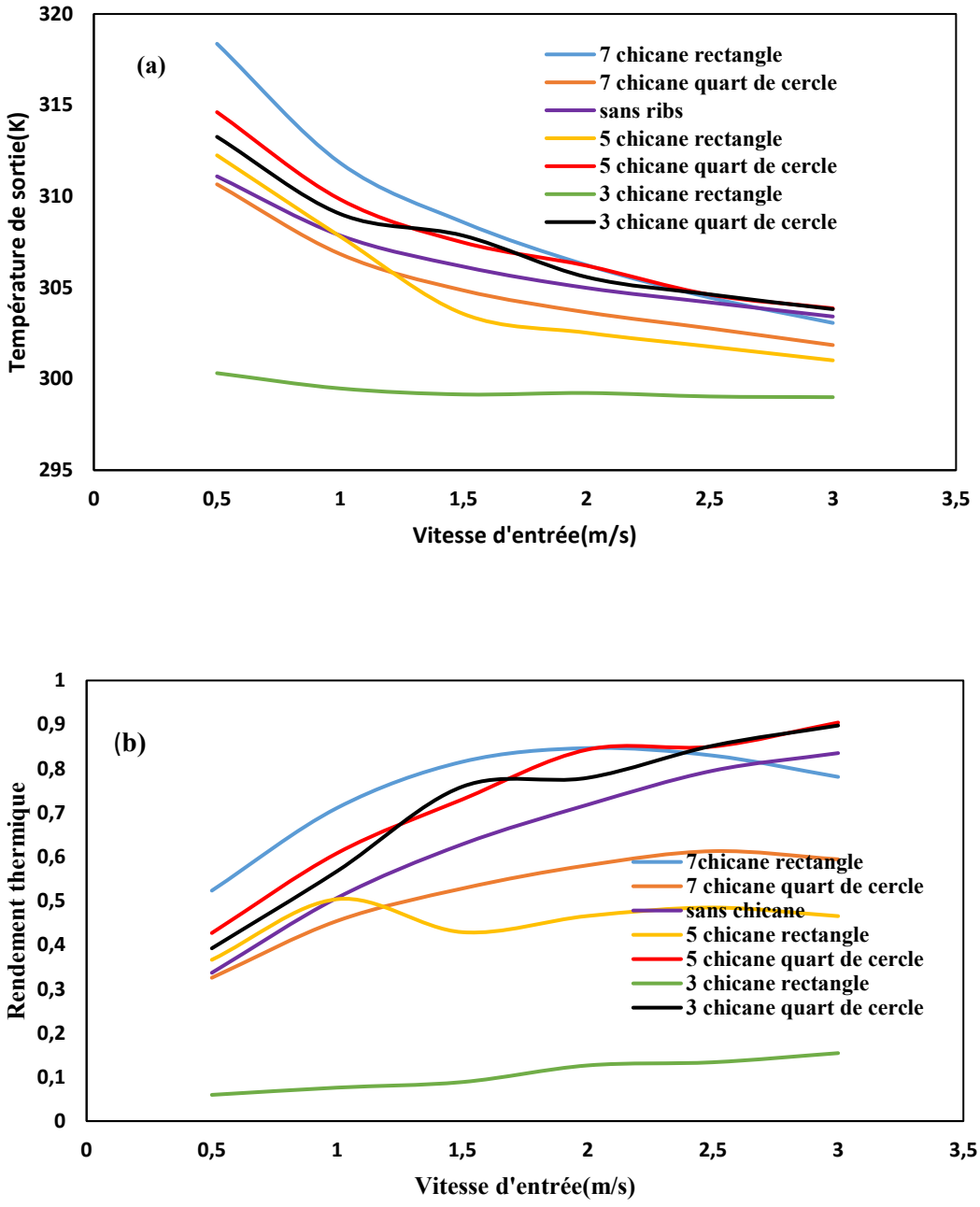


Figure III.14: influence de nombres de chicane a) température de sortie b) rendement thermique.

III.5 Conclusion :

Ce chapitre a permis de mettre en évidence l'influence cruciale de la géométrie et du nombre de chicanes sur les performances thermoélectriques d'un système photovoltaïque refroidi par un canal. Les analyses ont montré que, bien que les chicanes en quart de cercle assurent généralement un écoulement plus homogène et une dissipation thermique stable, les configurations à chicanes rectangulaires, notamment avec trois et cinq chicanes, se sont révélées plus efficaces dans certaines conditions. En effet, ces configurations ont permis d'obtenir des températures de cellule plus basses et une meilleure récupération de chaleur, traduisant ainsi un rendement thermique et électrique optimisé, surtout à faible vitesse d'entrée. Par conséquent, le choix entre les deux géométries ne peut être tranché de manière absolue, mais doit être adapté selon l'objectif visé (électrique ou thermique) et les conditions de fonctionnement. En somme, une configuration interne bien étudiée tenant compte de la forme, du nombre et de la disposition des chicanes constitue un facteur clé pour améliorer l'efficacité des systèmes PV, et représente une solution prometteuse pour un refroidissement performant et ciblé.

CONCLUSION GÉNERALE

Conclusion générale et perspectives :

Les cellules photovoltaïques (PV) convertissent uniquement une fraction du rayonnement solaire incident en énergie électrique. La majorité de l'énergie solaire absorbée est transformée en chaleur, ce qui provoque une élévation significative de la température des modules, affectant négativement leur rendement global. Pour évacuer cette chaleur, dans cette étude un système de refroidissement par insertion de chicanes dans un conduit a été proposé. Un modèle en 2D a été développé avec ANSYS Fluent et validé par des données expérimentales.

Nous avons étudié l'effet de deux types de chicanes **rectangulaires** (cas 1) et en **quart de cercle** (cas 2), comparées à une configuration sans chicanes (cas 0), ainsi que l'impact de plusieurs paramètres tels que la vitesse de l'air à l'entrée, l'intensité du rayonnement solaire et la température ambiante.

Les résultats obtenus montrent que la présence de chicanes améliore considérablement le transfert thermique, en favorisant le mélange de l'air, la création de recirculations, ce qui contribue à une réduction notable de la température de la cellule photovoltaïque.

Les principales observations, qu'on peut retenir sont:

- Le cas 2 (quart de cercle) présente la meilleure répartition thermique, une turbulence bien homogène et une température de cellule plus faible, notamment à faible vitesse d'entrée, ce qui se traduit par le meilleur rendement électrique.
- Le cas 1 (rectangulaire) montre des pics locaux de turbulence et des pertes de charge plus importantes, ce qui peut limiter l'efficacité du refroidissement à certaines vitesses. Cependant, il offre une température de sortie de l'air plus élevée, favorable au rendement thermique.
- L'augmentation de la vitesse de l'air améliore globalement le refroidissement pour toutes les configurations, avec une réduction significative de la température des cellules PV, mais au détriment parfois d'une augmentation des pertes de charge et d'un rendement thermique moins stable.
- L'étude de l'uniformité thermique montre que le cas 2 assure une meilleure homogénéité de température, réduisant les risques de surchauffe localisée et prolongeant la durée de vie du panneau.

- L'influence du rayonnement solaire a révélé que pour une irradiance élevée (jusqu'à 1000 W/m²), le cas 1 offre une meilleure gestion de la montée en température, alors que le cas 2 perd légèrement en efficacité au-delà d'un certain seuil.
- Lorsque la température ambiante augmente, toutes les configurations subissent une élévation de la température des cellules, mais le cas 2 continue d'assurer un meilleur compromis entre performance électrique et thermique, grâce à une répartition plus fluide du flux.
- Enfin, l'analyse du nombre de chicanes révèle que leur impact dépend fortement de leur forme géométrique. Pour les nervures rectangulaires, trois chicanes suffisent à améliorer le refroidissement, tandis que pour le quart de cercle, sept chicanes sont nécessaires pour atteindre les meilleures performances.

Perspective

Cette étude met en évidence le rôle crucial de la géométrie et du nombre de chicanes dans l'optimisation des systèmes de refroidissement des panneaux PV. Pour aller plus loin, il serait pertinent d'élargir cette étude à des configurations tridimensionnelles, varier les formes et la position des chicanes et utiliser d'autres fluides caloporteurs tels que les nanofluides.

Bibliographie

[1] Grubišić-Čabo, F.; Nižetić, S.; Marco, T. G. Photovoltaic panels: A review of the cooling techniques. Trans Famena 2016, 40, 63–74.

[2] Noro, M.; Lazzarin, R.; Bagarella, G. Advancements in Hybrid Photovoltaic-thermal Systems: Performance Evaluations and Applications. Energy Procedia 2016, 101, 496 503. DOI:10.1016/j.egypro.2016.11.063 aktywnego układu chłodzenia paneli fotowoltaicznych. 2020.

[3] Kozak-Jagieła, E., Cisek, P., & Ocłoń, P. (2023). Techniques de refroidissement pour panneaux photovoltaïques : une revue. Scientiae Radices , 2 .

[4] Cuce, E.; Bali, T.; Sekucoglu, S. A. Effects of passive cooling on performance of silicon photovoltaic cells. Int. J. Low-Carbon Technol. 2011, 6, 299–308. DOI:10.1093/ijlct/ctr018

[5] Kozak-Jagieła, E., Cisek, P., & Ocłoń, P. (2023). Techniques de refroidissement pour panneaux photovoltaïques : une revue. Scientiae Radices , 2 .

[6] Rajpu, U.J.; Yang, J. Comparison of heat sink and water type PV/T collector for polycrystalline photovoltaic panel cooling. Renew. Energy 2018, 116, 479–491. DOI:10.1016/j.renene.2017.09.090

[7] Mittelman, G.; Alshare, A.; Davidson, J. H. A model and heat transfer correlation for rooftop integrated photovoltaics with a passive air cooling channel. Sol Energy 2009, 83, 8, 1150-1160. DOI:10.1016/j.solener.2009.01.015

[8] Amber, K. P.; Akram, W.; Bashir, M.A.; Khan, M.S.; Kousar A. Experimental performance analysis of two different passive cooling techniques for solar photovoltaic installations. J. Therm. Anal. Calorim. 2021, 143, 2355-2366. DOI:10.1007/s10973-020-09883-6

[9] Najafi, H.; Woodbury, K. A. Optimisation of a cooling system based on Peltier effect for photovoltaic cells. Sol. Energy 2013, 91, 152-160. DOI:10.1016/j.solener.2013.01.026

[10] Fakouriyan, S.; Saboohi, Y.; Fathi A. Experimental analysis of a cooling system effect on photovoltaic panels' efficiency and its preheating water production. Renew Energy 2019, 134, 1362–1368. DOI:10.1016/j.renene.2018.09.054

[11] Yang, L.H.; Liang, J-De.; Hsu, C.Y.; Yang, T. H.; Chen, S. L. Enhanced efficiency of

photovoltaic panels by integrating a spray cooling system with shallow geothermal

energy heat exchanger. Renew. Energy 2019, 134, 970–981.

DOI:10.1016/j.renene.2018.11.089

[12] Kozak-Jagieła, E., Cisek, P., & Ocłoń, P. (2023). Techniques de refroidissement pour panneaux photovoltaïques : une revue. Scientiae Radices , 2 .

[13] Wu, S.; Xiong, C. Passive cooling technology for photovoltaic panels for domestic houses.

Int. J. Low-Carbon Technol. 2014, 9, 118–126. DOI:10.1093/ijlct/ctu013

[14] Kozak-Jagieła, E., Cisek, P., & Ocłoń, P. (2023). Techniques de refroidissement pour panneaux photovoltaïques : une revue. Scientiae Radices , 2 .

[15] Kozak-Jagieła, E., Cisek, P., & Ocłoń, P. (2023). Techniques de refroidissement pour panneaux photovoltaïques : une revue. Scientiae Radices , 2

[16] Dwivedi, P.; Sudhakar, K.; Soni, A.; Solomin, E.; Kirpichnikova, I. Advanced cooling

techniques of P.V. modules: A state of art. Case Stud. Therm. Eng. 2020, 21, 100674.

DOI:10.1016/j.csite.2020.100674

[17] Kozak-Jagieła, E., Cisek, P., & Ocłoń, P. (2023). Techniques de refroidissement pour panneaux photovoltaïques : une revue. Scientiae Radices , 2 .

[18] Hamdan, M.; Shehadeh, M.; Al Aboushi, A.; Hamdan, A.; Abdelhafez, E. Photovoltaic

cooling using phase change material Jordan J. Mechan. Ind. Eng. 2018, 12, 3, 167-170.

[19] Arici, M.; Bilgin, F.; Nižetić, S.; Papadopoulos, A. M. Phase change material based cooling

of photovoltaic panel: A simplified numerical model for the optimisation of the phase change material layer and general economic evaluation. J. Clean. Prod. 2018, 189, 738

745. DOI:10.1016/j.jclepro.2018.04.057

[20] Kozak-Jagieła, E., Cisek, P., & Ocłoń, P. (2023). Techniques de refroidissement pour panneaux photovoltaïques : une revue. Scientiae Radices , 2

[21] Waqas, A.; Ji, J. Thermal management of conventional PV panel using PCM with movable

shutters - A numerical study. Sol. Energy 2017, 158, 797–807.

DOI:10.1016/j.solener.2017.10.050

[23] Klugmann-Radziemska, E.; Wcisło-Kucharek, P. Photovoltaic module temperature

stabilization with the use of phase change materials. Sol. Energy 2017, 150, 538–545.

DOI:10.1016/j.solener.2017.05.016

BIBLIOGRAPHIE

[22] Kiwan, S.; Ahmad, H.; Alkhalidi, A.; Wahib, W.O.; Al-Kouz, W. Photovoltaic Cooling Utilizing Phase Change Materials. E3S Web Conf. 2020, 160, 02004. DOI: 10.1051/e3sconf/202016002004

[24] Reddy, S.R.; Ebadian, M.A.; Lin, C. A review of PV–T systems: Thermal management and efficiency with single phase cooling. Int. J. Heat Mass Transf. 2015, 91, 861–871. DOI:10.1016/j.ijheatmasstransfer.2015.07.134

[26] Tonui, J.K.; Tripanagnostopoulos, Y. Air-cooled PV/T solar collectors with low cost performance improvements. Sol. Eng. 2007, 81, 498–511. DOI:10.1016/j.solener.2006.08.002

[27] Rahimi, M.; Valeh-e Sheyda, P.; Parsamoghadam, M.A.; Masahi, M.M.; Alsairafi, A.A. Design of a self-adjusted jet impingement system for cooling of photovoltaic cells. Energy Convers. Manag. 2014, 83, 48–57. DOI:10.1016/j.enconman.2014.03.053

[28] Kozak-Jagieła, E., Cisek, P., & Ocłoń, P. (2023). Techniques de refroidissement pour panneaux photovoltaïques : une revue. Scientiae Radices , 2 .

[29] Rahimi, M.; Asadi, M.; Karami, N.; Karimi, E. A comparative study on using single and multi header microchannels in a hybrid PV cell cooling. Energy Convers. Manag. 2015, 101, 1–8. DOI:10.1016/j.enconman.2015.05.034

[30] Barrau, J.; Rosell, J.; Chemisana, D.; Tadrist, L.; Ibañez, M. Effect of a hybrid jet impingement/micro-channel cooling device on the performance of densely packed PV cells under high concentration. Sol. Energy 2011, 85, 2655–2665. DOI:10.1016/j.solener.2011.08.004

[31] KOZAK-JAGIEŁA, Ewa, CISEK, Piotr et OCŁOŃ, Paweł. Techniques de refroidissement pour les panneaux photovoltaïques : une revue. Radices Scientiae , 2023, vol. 2.

[32] Ali, H.M. Recent advancements in PV cooling and efficiency enhancement integrating phase change materials based systems—A comprehensive review. Sol. Energy 2020, 197, 163–198. DOI:10.1016/j.solener.2019.11.075

[33] Sardarabadi, M.; Passandideh-Fard, M.; Heris, S.Z. Experimental investigation of the

effects of silica/water nanofluid on PV/T (photovoltaic thermal units). Energy 2014, 66,

264–272. DOI:10.1016/j.energy.2014.01.102

[34] Rostami, Z.; Rahimi, M.; Azimi, N. Using High-Frequency Ultrasound Waves and Nanofluid

for Increasing the Efficiency and Cooling Performance of a PV Module. Energy Convers.

Manag. 2018, 160, 141–149. DOI:10.1016/j.enconman.2018.01.028

[35] Siddiqui, M. U., Arif, A. F., Kelley, L., & Dubowsky, S. (2012). Three-dimensional thermal modeling of a photovoltaic module under varying conditions. Solar energy, 86(9), 2620-2631.

[36] Radwan, A., Katsura, T., Memon, S., Abo-Zahhad, EM, Abdelrehim, O., Serageldin, AA, ... & Nagano, K. (2020). Développement d'un nouveau capteur photovoltaïque/thermique sous vide et analyses thermiques et exergétiques. Sustainable Energy & Fuels , 4 (12), 6251-6273.

[37] Slimani, MEA, Amirat, M., Kurucz, I., Bahria, S., Hamidat, A., & Chaouch, WB (2017). Un modèle thermoélectrique détaillé de trois capteurs hybrides photovoltaïques/thermiques (PV/T) à air et d'un module photovoltaïque (PV) : étude comparative dans les conditions climatiques d'Alger. Conversion et gestion de l'énergie , 133 , 458-476.