REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR

ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE YAHIA FARES MEDEA

Faculté de Technologie



Projet de Fin d'Etudes

Pour l'obtention du diplôme de Master en :

Filière : Génie Mécanique

Spécialité : Energie Renouvelable en Mécanique

THEME

Etude de refroidissement des panneaux solaire par simulation numérique

Présenté par :

BECHELAGHEM Houssem

Proposé et dirigé par:

Dr. REBHI Redha

Année Universitaire: 2021 - 2022

Remerciement

Pour mon encadreur M.Rebhi Rédha …

Je voudrais profiter de cette occasion pour vous remercier de votre généreux et grand soutien pour que je puisse mener à bien cette recherche jusqu'au bout, je vous suis très reconnaissant et pour votre aide, merci à Dieu qui m'a dédié cette opportunité, et mille mercis à votre bon cœur et à votre personne généreuse.

Un merci spécial à mon directeur M. Ouekrif Mohammed pour m'avoir donné assez de temps pour compléter ma mémoire d'étude.

Et un merci spécial et sincère à mon père, ma mère et ma famille pour le soutien moral et financier et pour être à mes côtés face aux difficultés à terminer mes études.

Dédicaces

Je dédie ce travail aux deux plus chères personnes au monde qui sont mes parents, pour tous leurs amours, encouragements, conseil, sacrifices, patiences et confiance.

à mes frères et mes soeurs.

A toute ma famille sans oublie mes chère amis

Résumé :

Dans les cellules photovoltaïques (PV), la majeure partie de l'énergie solaire absorbée le rayonnement ne peut pas être converti en électricité. Une grande quantité d'énergie solaire le rayonnement est converti en chaleur, qui doit être dissipée par toutes techniques de refroidissement. Dans la présente étude, le refroidissement est réalisé par insertion des nervures rectangulaires et semi-circulaires dans le conduit. Un bidimensionnel complet, modèle thermo-fluide pour le refroidissement efficace des cellules PV a été développé. Il a d'abord été soigneusement validé contre résultats expérimentaux et numériques disponibles. Une analyse paramétrique a ensuite été effectuée sur l'influence de la nombre et taille des nervures, vitesse du vent, rayonnement solaire et entrée vitesse du fluide sur les températures moyennes des cellules solaires et de l'air de sortie comme ainsi que les rendements thermique et électrique du module. Résultats indiqué que l'utilisation de canaux nervurés rectangulaires et semi-circulaires est un moyen très efficace technique de refroidissement, qui réduit considérablement la moyenne température de la cellule PV, en particulier lors de l'augmentation du nombre des ailettes.

Mots-clés : cellules photovoltaïques, rayonnement solaire, températures, fluides, ailettes, énergie solaire, refroidissement.

Abstract:

In photovoltaic (PV) cells, most of the absorbed solar radiation cannot be converted into electricity. A large amount of solar radiation is converted into heat, which must be dissipated by any cooling techniques. In the present study, cooling is achieved by inserting rectangular and semi-circular ribs into the duct. A complete two-dimensional Thermo-fluid model for efficient cooling of PV cells has been developed. It was first carefully validated against available experimental and numerical results. a parametric analysis was then carried out on the influence of the number and size of the ribs, wind speed, solar radiation and inlet fluid speed on the average temperatures of the solar cells and the outlet air as well as the thermal yields and electrics of the module. Results indicated that the use of rectangular and semicircular ribbed channels is a very efficient cooling technique, which significantly reduces the average temperature of the PV cell, especially when increasing the number of ribs.

Keywords: PV cells, solar radiation, temperatures, fluids, ribs, solar energy, cooling.

الملخص :

في الخلايا الكهروضوئية (PV) لا يمكن تحويل معظم الإشعاع الشمسي الممتص إلى كهرباء. يتم تحويل كمية كبيرة من الإشعاع الشمسي إلى حرارة ، والتي يجب أن تتبددعن طريق تقنيات التبريد. في هذه الدراسة ، يتحقق التبريد عن طريق إدخال أضلاع مستطيلة وشبه دائرية في القناة ثنائية الأبعاد كاملة، تم تطوير نموذج المائع الحراري للتبريد الفعال للخلايا الكهروضوئية. تم التحقق من صحته بعناية مقابل النتائج التجريبية والرقمية المتاحة. ثم تم إجراء تحليل بارامترى على تأثير عدد وحجم الأضلاع وسرعة الرياح والإشعاع الشمسي وسرعة دخول المائع على متوسط درجات حرارة الخلايا الشمسية والهواء الخارج وكذلك العائد الحراري والكهرباء من وحدة. أشارت النتائج إلى أن استخدام القنوات المضلعة المستطيلة وشبه الدائرية هي تقنية تبريد فعالة للغاية ، مما يقلل بشكل كبير من متوسط درجة حرارة الخلية الكهروضوئية ، خاصة عند زيادة عدد الأضلاع.

الكلمات المفتاحية : الخلايا الكهروضوئية (PV) ، الإشعاع الشمسي ، درجات الحرارة ،الموائع ، الزعانف ، الطاقة الشمسية،التبريد.

Sommaire

Sommaire

Introduction Générale ***.....1***

I. Chapitre I : Généralité sur le transfert de chaleur ***.....3***

I.1 *Introduction* : 3

I.1.1 Qu'est-ce que la chaleur ? 3

I.1.2 Qu'est-ce qu'un transfert de chaleur? 4

I.1.3 Comment la chaleur est-elle transférée? 4

I.2 Définitions : 12

I.2.1 Flux de chaleur : 12

I.2.2 Densité de flux de chaleur : 13

I.3 Les expressions des différents flux : 13

I.3.1 Flux de chaleur échangé par conduction – loi de Fourier : 13

I.3.2 Flux de chaleur échangé par convection – loi de Newton : 14

I.3.3 Flux de chaleur échangé par rayonnement – loi de Stefan : 14

II. Chapitre II : Généralités sur le refroidissement des panneaux solaire ***.....16***

II.1 Le soleil : 16

II.1.1 Avantage : 16

II.1.2 Inconvénients : 16

II.2 Définitions : 17

II.2.1 Un panneau solaire : 17

II.2.2 Les panneaux solaires thermiques 17

II.2.3 Les panneaux solaires photovoltaïques : 18

II.2.4 Les panneaux photovoltaïques thermiques : 18

II.3 L'impact de la température sur la performance des panneaux solaires: 18

II.3.1 L'impact de la température sur un panneau photovoltaïque de type mono-cristallin : 19

II.3.2 L'impact de la température sur les panneaux photovoltaïques poly cristalline : 20

II.4 Les technologies de refroidissement : 20

II.4.1 Les systèmes passifs pour le refroidissement des panneaux PV : 20

II.4.2 Les systèmes actifs pour le refroidissement des panneaux PV : 22

II.5 Les avantages du refroidissement des panneaux PV : 26

Sommaire

II.6 Ralentissement du vieillissement des panneaux photovoltaïques : 26
II.7 Le nettoyage des panneaux : 29
II.7.1 Nettoyage à sec : 29
II.7.2 Nettoyage à l´eau : 29
II.7.3 Combien de fois par an dois-je nettoyer mes panneaux photovoltaïques ? 30
III. Chapitre III : model physique et formulation numérique.....31
III.1 Initiation à la simulation numérique des écoulements des fluides (CFD) : 31
III.2 Logiciel de simulation ANSYS : 31
III.2.1 Présentation de l'ANSYS ICEM CFD : 32
III.3 Simulation numérique : 34
III.3.1 Conduction d'une simulation numérique : 34
III.4 Modélisation numérique : 35
III.4.1 Modélisation géométrique : 35
III.5 Formulation Mathématique : 37
IV. Chapitre IV : Résultats et Discussions.....40
IV.1 Application sur L'ANSYS WORKBENCH 15.0 : 40
IV.1.1 Effets des variables physiques : 40
IV.1.2 Les graphes de la pression : 46
IV.1.3 Les graphes de la température : 50
IV.1.4 Les graphes pour la Vitesse U : 54
IV.1.5 Les graphes pour l'énergie cinétique : 58
IV.1.6 Conclusion : 61
Conclusion Générale : 62
Bibliographie.....63

Nomenclature

1ε Constante utilisée dans le modèle standard k-ε T Température [K]

C2ε Constante utilisée dans le modèle standard k-ε Tin Température du fluide en entrée [K]

C3ε Constante utilisée dans le modèle standard k-ε Tw Température de paroi du canal [K]

Cμ Constante utilisée dans le modèle standard k-ε S Terme source.

Dh Diamètre aéraulique du canal rectangulaire [m] u Vitesse X du fluide [m/s]

e Épaisseur du déflecteur et de l'ailette [m] Uin Vitesse du fluide en entrée [m/s]

f0 Facteur de frottement pour le canal lisse sans ailette v Vitesse Y du fluide [m/s]

h Hauteur du déflecteur et des ailettes [m] W Largeur du canal

H Hauteur du canal [m] ρf Densité du fluide [kg/m3]

k Énergie cinétique turbulente [m2/s2] ρs Masse volumique solide [kg/m3]

L Longueur du canal [m] ε Taux de dissipation turbulente [m2/s3]

L1 Distance entre le premier et le deuxième obstacle [m] Γ Coefficient de diffusion turbulente

L2 Distance entre le deuxième et le troisième obstacle [m] μe Viscosité effective [kg/m-s]

P Pression [Pa] μl Viscosité laminaire [kg/m-s]

Patm Pression atmosphérique [Pa] μt Viscosité turbulente [kg/m-s]

Pr Nombre de Prandtl τw Contrainte de cisaillement de la paroi [Pa]

Re Nombre de Reynolds kf Conductivité thermique du fluide [W/m- C]

S Terme source ks Conductivité thermique du solide [W/m- C]

Liste des figures

Figure I-1:Diagramme schématique des modèles de transfert de chaleur ____ *4*
Figure I-2: schéma descriptive d'un transfert de chaleur par conduction à travers une barre solide ____ *5*
Figure I-3 : Description principe de la convection thermique dans une casserole d'eau ____ *5*
Figure I-4:Exemple descriptif de rayonnement thermique ____ *6*
Figure I-5:Distribution spectrale du rayonnement électromagnétique [17] ____ *7*
Figure I-6:Décrire la distribution directionnelle ____ *9*
Figure I-7:Le sort du flux radiatif entrant pour les milieux semi-transparent [17] ____ *10*
Figure I-8:Le sort du flux radiatif entrant pour les corps opaques [17] ____ *10*
Figure I-9:Le sort du flux radiatif entrant pour les corps noir [17] ____ *11*
Figure I-10:rayonnement dans une enceinte [17] ____ *11*
Figure I-11:flux de chaleur échangé par un système avec l'extérieur à travers une surface Σ ____ *13*
Figure I-12:la densité de flux de chaleur échangé entre une paroi solide et un fluide ____ *14*
Figure I-13:la densité de flux de chaleur Echangé entre une paroi solide et un fluide[17] ____ *15*
Figure II-1:La caractéristique I-V et P-V d'une cellule monocristalline [4] ____ *19*
Figure II-2:: Courbe qui représente la séparation du spectre solaire en partie PV et une partie thermique [13] _ *21*
Figure II-3:Système de refroidissement SUNI Brain par arrosag ____ *24*
Figure II-4:schéma descriptif du système conçu par CDER ____ *25*
Figure II-5: exemple de contenance d'un panneau solaire PV ____ *28*
Figure II-6:nettoyage des panneaux solaire ____ *30*
Figure III-1:Interface graphique de l'ANSYS ICEM CFD ____ *32*
Figure III-2:schéma descriptive de la configuration géométrique (vierge) ____ *36*
Figure III-3:schéma descriptive de la configuration géométrique avec 2 ailettes rectangulaire ____ *36*
Figure III-4:schéma descriptive de la configuration géométrique avec 2 ailettes semi-circulaire ____ *37*
Figure IV-1:L'effet de température sur la géométrie vierge ____ *40*
Figure IV-2:L'effet de la vitesse sur la géométrie vierge ____ *40*
Figure IV-3:L'effet de la pression sur la géométrie vierge ____ *41*
Figure IV-4:L'effet de L'énergie cinétique sur la géométrie vierge ____ *41*
Figure IV-5:L'effet de la pression sur la géométrie carré ____ *42*
Figure IV-6:L'effet de L'énergie cinétique sur la géométrie carré. ____ *42*
Figure IV-7:L'effet de la température sur la géométrie carré. ____ *43*
Figure IV-8: L'effet de vitesse U sur la géométrie carré. ____ *43*
Figure IV-9:L'effet de la pression sur la géométrie cercle. ____ *44*
Figure IV-10: L'effet de la température sur la géométrie cercle. ____ *45*
Figure IV-11:L'effet de la vitesse U sur la géométrie cercle ____ *45*
Figure IV-12:L'effet de l'énergie cinétique sur la géométrie cercle. ____ *46*
Figure IV-13: résultats de la pression pour X=0.2 m ____ *47*
Figure IV-14:résultats de la pression pour X=0.34 m ____ *47*
Figure IV-15: résultats de la pression pour X=0.52m ____ *48*
Figure IV-16:résultats de la pression pour X=0.68 m ____ *48*
Figure IV-17:Résultats de la pression pour X=0.85m ____ *49*
Figure IV-18:Résultats de la pression pour X= 1m ____ *49*
Figure IV-19:Résultats de la Température pour X=0.2m ____ *50*

Liste des figures

Figure IV-20:Résultats de la Température pour X=0.34m 51
Figure IV-21:Résultats de la Température pour X=0.52m 51
Figure IV-22:Résultats de la Température pour X=0.68m 52
Figure IV-23:Résultats de la température pour X = 0.85m 53
Figure IV-24:Résultats de la Température pour X = 1m 53
Figure IV-25: Résultats de la vitesse U pour X =0.2m 54
Figure IV-26:Résultats de la vitesse U pour x = 0.34m 55
Figure IV-27:Résultats de la vitesse U pour X = 0.52m 55
Figure IV-28:Résultats de la vitesse U pour X=0.68m 56
Figure IV-29:Résultats de la vitesse U pour X=0.85m 57
Figure IV-30:Résultats de la vitesse U pour X= 1m 57
Figure IV-31:Résultats de l'énergie cinétique pour X= 0.2 58
Figure IV-32:Résultats de l'énergie cinétique pour X= 0.34m 59
Figure IV-33:Résultats de l'énergie cinétique pour X= 0.52m 59
Figure IV-34:Résultats de l'énergie cinétique pour X= 0.68m 60
Figure IV-35:Résultats de l'énergie cinétique pour X= 0.85m 60
Figure IV-36:Résultats de l'énergie cinétique pour X= 1m 61

Liste des tableaux

Tableau I-1 : Tableau montrant quelques unités d'énergie [17] _____ *3*

Tableau I-2:comparaison des trois défirent milieux _____ *10*

Tableau II-1:Les résultats expérimentaux des panneaux troués [12] _____ *21*

Tableau III-1 : Propriétés radiatives et thermo physiques des couches constitution du module PV [30] _____ *35*

Introduction Générale

En raison de l'électricité très consommée, coût d'exploitation élevé et de l'impact environnemental des systèmes de production d'énergie, les technologies solaires photovoltaïques sont le bon moyen pour les chercheurs de résoudre la production d'électricité problème. Les convertisseurs photovoltaïques sont des dispositifs semi-conducteurs convertir directement une partie du rayonnement solaire incident en électricité [1]. Les cellules photovoltaïques sont utilisées dans une large gamme d'applications. Une évaluation inclusive de quatre cellules solaires différentes, y compris l'arséniure de gallium poly cristallin monocristallin et des cellules super solaires ont été fabriquées. Un petite fraction de la lumière solaire absorbée est convertie directement en électricité dans les cellules photovoltaïques. Dans la plupart des recherches, on constate que L'efficacité des cellules photovoltaïques est inférieure à 20 % pour les cellules solaires au silicium et environ 40 % pour les cellules solaires à jonctions multiples [3].

Le reste 80 % ou 60 % de l'énergie absorbée sont convertis en chaleur, qui provoquera une élévation de température des cellules PV, pourrait provoquer des points chauds ou des dommages et entraîner une diminution significative de son rendement électrique [3], [6], [7].

L'utilisation efficace de l'énergie solaire dans les systèmes photovoltaïques peut être obtenu si en utilisent les techniques de refroidissement comme des techniques actives comprenant le refroidissement à base d'air, le refroidissement à base de liquide, la circulation d'eau forcée, la pulvérisation d'eau, et des méthodes passives telles que le refroidissement par matériaux à changement de phase (MCP), les caloducs, les échangeurs de chaleur, les échangeurs de chaleur à micro canaux, le refroidissement par ciel radiatif, le refroidissement à base de nano fluides, le refroidissement thermoélectrique, le refroidissement par évaporation et le refroidissement par filtre spectral. L'étude décrit également une courte série de systèmes de refroidissement hybrides et multi-concepts qui sont actuellement en cours de développement.[8].

Un grand nombre de recherches ont été publiées dans le domaine du refroidissement PV. L'eau est généralement préférée à air dans les systèmes solaires PV/T [10].

Conception de refroidissement différente les arrangements ont été étudiés numériquement et expérimentalement. Mais Finalement au domaine de refroidissement avec l'air il Ya des chercheures ont atteint des rendements thermique et électrique maximaux ont étudié numériquement l'influence des différentes

configurations géométriques par Insertion des ailettes avec différent formes dans les canaux photovoltaïque.

I. Chapitre I : Généralité sur le transfert de chaleur

I.1 *Introduction* :

Un transfert de chaleur au sein d'un système ne se produit que s'il existe des gradients de température entre les différentes parties du système, ce qui implique que celui-ci n'est alors pas à l'équilibre thermodynamique (la température n'est pas uniforme dans tout le système). Au cours de la transformation du système vers un état d'équilibre final, la température va évoluer à la fois en temps et en espace. Le but de l'analyse des transferts de chaleur est d'identifier quels sont les modes de transfert mis en jeu au cours de la transformation et de déterminer quantitativement comment varie la température en chaque point du système au cours du temps. [2]

Dans le cadre de ce chapitre, nous nous limiterons de façon modeste, parmi les transferts énergétiques, à l'étude des transferts de chaleur ou transferts thermiques, selon un point de vue macroscopique. Nous serons ainsi amenés à répondre à trois questions:

a) Qu'est-ce que la chaleur ?

b) Qu'est-ce qu'un transfert de chaleur?

c) Comment la chaleur est-elle transférée?

Les réponses apportées à ces trois questions nous permettrons de comprendre les mécanismes physiques en jeu dans les transferts de chaleur et d'apprécier l'importance de ces transferts de chaleur dans les problèmes industriels, environnementaux et économiques.

I.1.1 Qu'est-ce que la chaleur ?

La chaleur c'est une forme d'énergie, elle est causée par l'agitation, au sein de la matière, des molécules et des atomes. Donc " l'énergie thermique" ou bien la chaleur est l'énergie associée au mouvement désordonné des particules contenues dans une substance.

L'unité de la chaleur est le joule. D'autres unités d'énergie sont utilisées:

Tableau I-1 : Tableau montrant quelques unités d'énergie [17]

Joule (J)	kcal	British thermal unit (Btu)
1	2,39.10-4	9,478.10-4
4184	1	3,966
1055	0,252	1

I.1.2 Qu'est-ce qu'un transfert de chaleur?

Un transfert de chaleur qu'il convient d'appeler transfert thermique ou transfert par chaleur est un transit d'énergie thermique d'un système à un autre à cause d'une différence de température.

I.1.3 Comment la chaleur est-elle transférée?

Deux corps ayant la même température sont dits en « équilibre thermique ». Si leur température est différente, un transfert de chaleur se produit entre eux. Le deuxième principe de la thermodynamique admet que la chaleur (ou énergie thermique) ne peut passer que d'un corps chaud vers un corps froid, c'est-à-dire d'un corps à température donnée vers un autre à température plus basse.

I.1.3.1 Les modes de transfert de chaleur :

Les trois modes de transfert de chaleur :

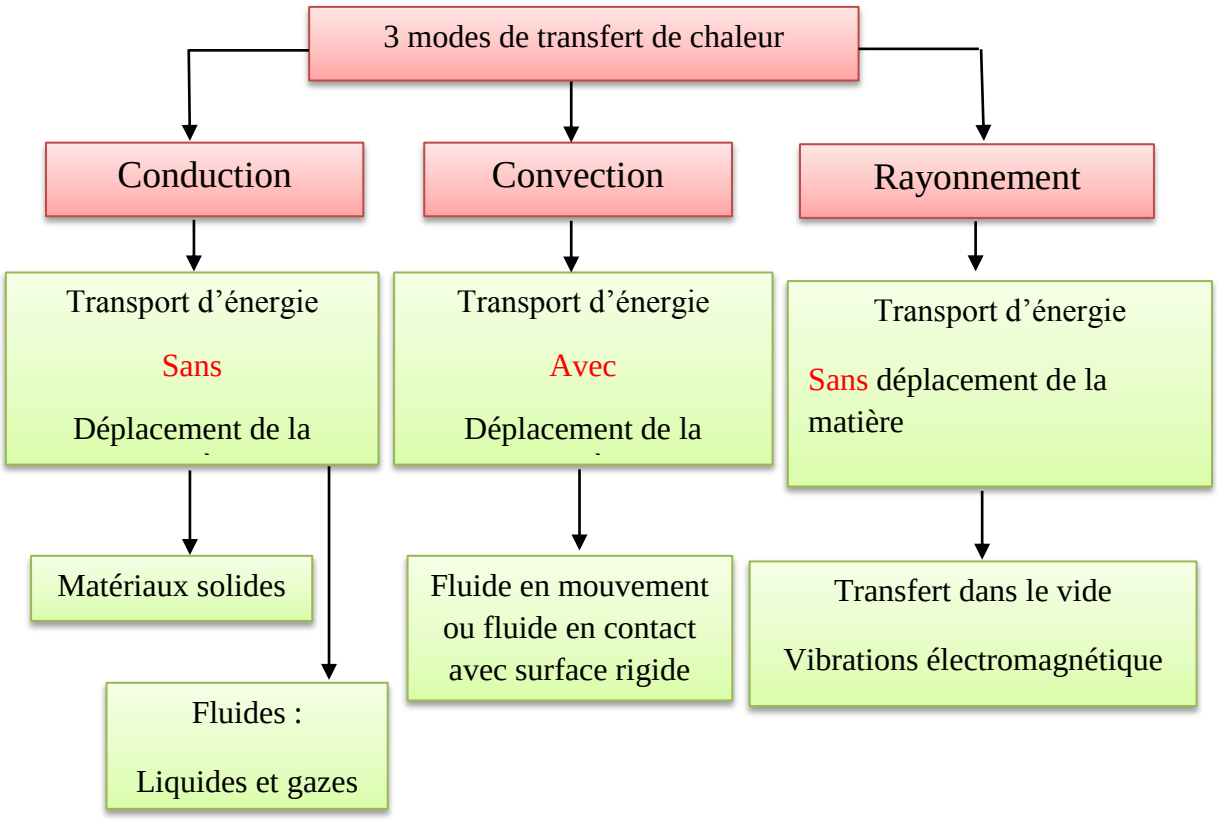


Figure I-1: Diagramme schématique des modèles de transfert de chaleur

I.1.3.1.1 Transfert de chaleur par conduction :

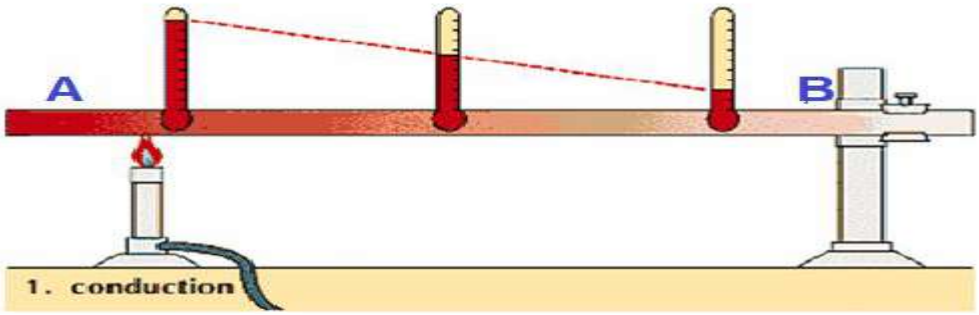


Figure I-2: schéma descriptive d'un transfert de chaleur par conduction à travers une barre solide

Le processus de transfert de chaleur par conduction s'appuie sur un milieu matériel sans mouvement de matière et est dû à des phénomènes physiques microscopiques (agitation des atomes ou des molécules, flux d'électrons libres…). Il peut être vu comme un transfert d'énergie des particules les plus énergétiques (les particules chaudes qui ont une énergie de vibration élevée) vers les particules les moins énergétiques (les particules froides d'énergie de vibration moins élevée), dû aux collisions entre particules. Dans les solides, le transfert d'énergie peut également se produire sous l'effet du déplacement d'électrons libres dans le réseau cristallin (par exemple pour les métaux). Ainsi les bons conducteurs d'électricité sont en général également de bons conducteurs de la chaleur. *[17]*

I.1.3.1.2 Transfert de chaleur par convection :

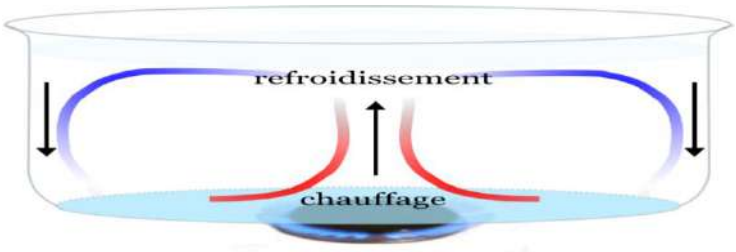


Figure I-3 : Description principe de la convection thermique dans une casserole d'eau

La convection est un mode de transfert de chaleur qui met en jeu, en plus de la conduction, le mouvement macroscopique de la matière. Ce phénomène se produit au sein des milieux fluides en écoulement ou entre une paroi solide et un fluide en mouvement. On distingue deux types de convection:

Convection naturelle: les mouvements sont dus aux variations de masse volumique dans un fluide soumis au champ de pesanteur. Les variations de masse volumique peuvent être générées par des gradients de température (l'air chaud est plus léger que l'air froid) et/ou par des gradients de composition.

Convection forcée: le mouvement du fluide est provoqué par des actions mécaniques extérieures (pompe, ventilateur…).

On parlera de « **convection mixte** » lorsque les deux types de convection coexistent dans un système.

I.1.3.1.3 Transfert de chaleur par rayonnement :

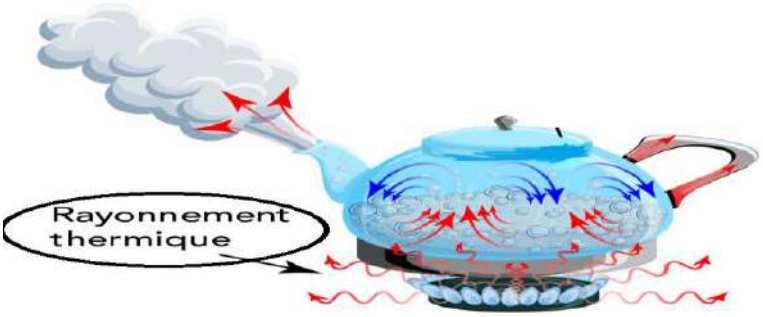


Figure I-4:Exemple descriptif de rayonnement thermique

I.1.3.1.3.1 Introduction :

Le transfert d'énergie par rayonnement résulte des interactions énergétiques entre un milieu matériel et le champ électromagnétique environnant et se produit par l'intermédiaire d'ondes électromagnétiques, donc sans support matériel. Lorsque la propagation se produit dans le vide ou dans un milieu parfaitement transparent, il n'y a pas de dégradation de l'énergie transportée. La plupart des gaz simples entrent dans cette catégorie. En revanche, lorsque la propagation des ondes électromagnétiques s'accompagne d'une diminution de l'énergie, on parle de milieux semi-transparents. Certains gaz, liquides ou solides entrent dans cette catégorie.

Tout corps matériel émet et absorbe de l'énergie sous forme de rayonnement électromagnétique. Le phénomène d'émission d'un corps correspond à la conversion d'énergie matérielle en énergie radiative. Le phénomène d'absorption est la conversion inverse.

Le rayonnement électromagnétique (r.e.m.) obéit aux lois de la physique quantique et peut être décrit soit par l'aspect corpusculaire soit par l'aspect ondulatoire, selon la nature des phénomènes qui couplent ce rayonnement à la matière et selon les énergies mises en jeu. Du point de vue ondulatoire, le r.e.m. résulte de la propagation d'une onde électromagnétique (propagation simultanée d'un champ électrique et d'un champ magnétique) caractérisée par sa fréquence. L'onde transporte une certaine quantité d'énergie liée à l'intensité du champ électrique. Du point de vue corpusculaire, le r.e.m. est constitué de quantas (photons) d'énergie h ν (h = 6.624.$10^{-34} J.S^{-1}C^{ste}$ de Planck, ν fréquence de l'onde S^{-1}).Le flux d'énergie est d'autant plus grand que le nombre de photons est élevé mais aussi que la fréquence est élevée. C'est en fait l'énergie transportée par chaque photon qui conditionne la forme que prend l'interaction du rayonnement avec la matière. La grandeur fondamentale caractérisant un r.e.m. est ainsi la fréquence ν ou la longueur d'onde λ= C_0/ν (C_0=3.10^8 m.S^{-1}) vitesse de la lumière dans le vide de chaque photon.

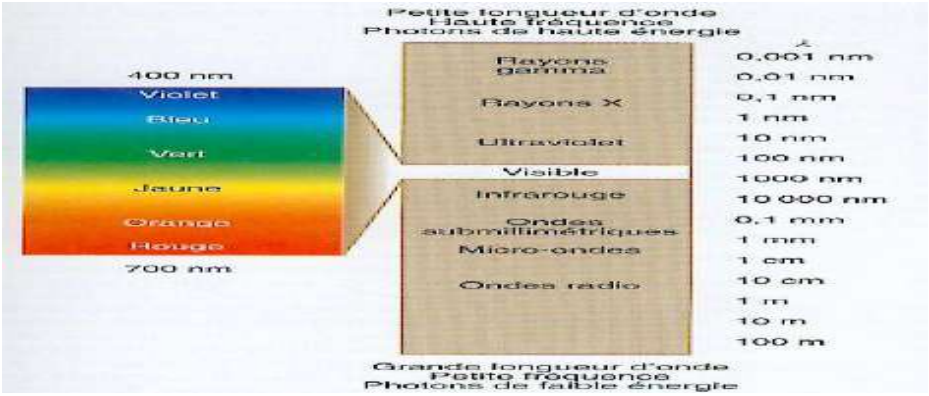


Figure I-5: Distribution spectrale du rayonnement électromagnétique [17]

I.1.3.1.3.2 Distribution spectrale du rayonnement électromagnétique :

Le champ électromagnétique se décompose ainsi en rayonnements élémentaires Mono chromatiques caractérisés par une longueur d'onde λ. Le flux surfacique radiatif φ (W.m^(-2)) représente la somme sur tout le spectre de longueurs d'onde (λ ϵ [0, ∞ [ ) du flux surfacique monochromatique dφ_λ défini sur l'intervalle [λ, λ+d λ] : *[17]*

$$\boldsymbol{\varphi = \int_{\lambda=0}^{\lambda\to\infty} d\varphi_\lambda} \quad \text{.....eq : (I.1)}$$

Dans la description corpusculaire, l'émission (ou absorption) d'un photon est associée au changement d'état énergétique d'un système quantique au cours duquel le système perd (ou gagne) une quantité d'énergie égale à celle du photon.

A chaque domaine de fréquence est associé un type de transition de l'état énergétique de la matière :

Rayonnement Hertzien : de longueur d'onde 10^3 m à 10^{-3} m (basses fréquences ou grandes longueurs d'onde, faible énergie) : produit par la circulation de courants alternatifs dans un conducteur (ondes radio…)

Rayonnement Infrarouge : de longueur d'onde 100 µm à 0.8 µm : principalement lié aux mouvements des atomes dans les molécules excitées par l'agitation thermique. Le Rayonnement IR est ainsi essentiellement un rayonnement thermique (application courante : caméras IR).

Nous verrons que lors du phénomène d'émission pour un corps noir (corps qui absorbe intégralement le rayonnement qu'il reçoit) à la température T en équilibre thermodynamique, la longueur d'onde la plus représentée vérifie la loi de Wien : $\lambda m(T).T = 2898$ µm.K Ainsi, pour des températures de quelques centaines de degrés Kelvin, la longueur d'onde caractéristique se situe dans l'infrarouge. Ex : le corps humain à T ~ 300 K, $\lambda m \sim 10\mu m$.

- **Rayonnement visible :** de longueur d'onde 400 à 750 nm

Un corps noir porté à 5000 K (le soleil) émet de la lumière visible dans toutes les longueurs d'onde et apparait blanc, avec une longueur d'onde caractéristique $\lambda m \sim 0.6$ µm qui se situe dans le visible (jaune).

- **Rayonnement Ultra-Violet :** (haute énergie).
- **Rayons X :** collision d'électrons accélérés (très haute énergie).
- **Rayons gamma :** produits lors des réactions nucléaires (très haute énergie).
- **Rayonnement thermique :** $\lambda \in [0.1\ \mu m, 100\ \mu m]$ (UV + visible + proche IR)

L'absorption d'un photon provoque l'augmentation de l'énergie cinétique des atomes dans les couches surfaciques et donc une augmentation de la température de surface. Le flux émis par une surface sera d'autant plus grand que la température est élevée.

L'expérience de William Herschell a permis de mettre en évidence l'existence du rayonnement infrarouge. Des radiations émises par une source à la température T_0 sont envoyées à travers un prisme. La déviation de ces radiations à travers le prisme (réfraction) dépend de la longueur d'onde de chaque radiation. Le faisceau dévié est projeté sur un écran absorbant et on obtient la décomposition du rayonnement total incident en un spectre de radiations monochromatiques. Si on déplace un thermocouple le long de l'écran, on peut mesurer la température T_λ pour chaque longueur d'onde l et construire la courbe T_λ = f(λ) afin d'obtenir la répartition spectrale de l'énergie rayonnée thermiquement pour la température T0 de la source. On constate que : l'énergie est maximale pour une longueur d'onde donnée $\lambda_m(T_0)$, l'énergie n'est émise que sur un intervalle de longueurs d'ondes, qui caractérise le domaine du rayonnement thermique, dont le rayonnement infrarouge fait partie.

I.1.3.1.3.3 Distributions directionnelle du rayonnement électromagnétique :

Outre la distribution spectrale du rayonnement électromagnétique, il existe également une distribution directionnelle, à laquelle est attachée la notion d'angle solide.

Dans le cas où l'émission est indépendante de θ :

→ Rayonnement **isotrope**

Dans le cas où l'émission est indépendante de O

→ Rayonnement **homogène**

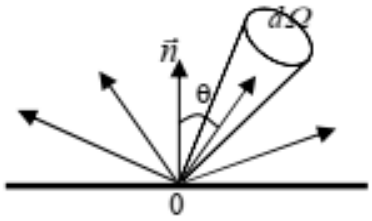


Figure I-6:Décrire la distribution directionnelle du rayonnement électromagnétique

I.1.3.1.4 Flux radiatifs :

Une fraction du rayonnement thermique incident qui arrive sur un corps est absorbée sous forme de chaleur, transmise ou réfléchie. Les phénomènes de réflexion et de transmission ne sont pas réellement un échange car ils n'influent pas directement sur l'énergie du système matériel. Dans le tableau (I.1) On peut distinguer 3 types de milieux :

Tableau I-2:comparaison des trois défirent milieux

milieux transparents	**milieux semi-transparents**	**milieux opaques**
uniquement de la transmission n'interagissent pas avec le champ de rayonnement	Transmission émission absorption réflexion	pas de transmission émission absorption réflexion

I.1.3.1.4.1 Pour les milieux semi-transparents :

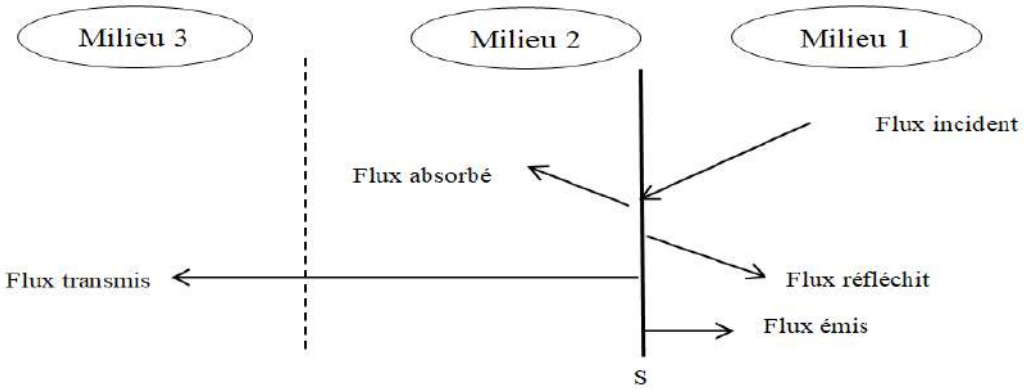


Figure I-7: Le sort du flux radiatif entrant pour les milieux semi-transparent [17]

Pour les corps opaque :

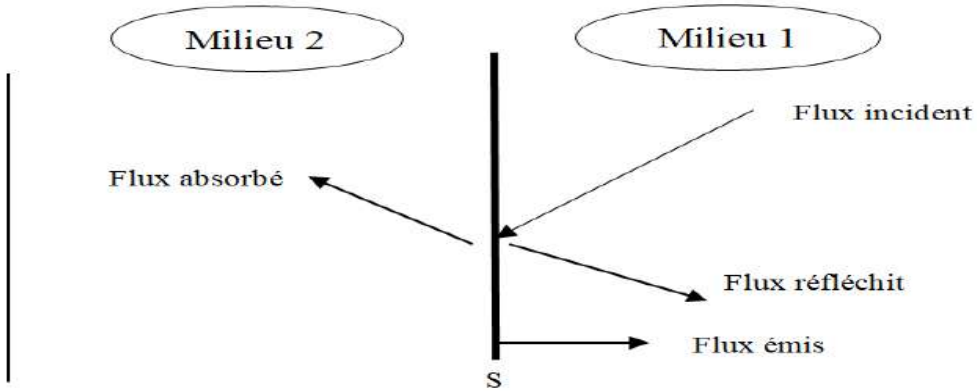


Figure I-8: Le sort du flux radiatif entrant pour les corps opaques [17]

Le bilan d'énergie réalisé sur un corps opaque à l'équilibre permet de définir un flux radiatif relatif au corps opaque considéré :

$$\phi \text{ radiatif} = \phi \text{ absorbé} - \phi \text{ émis} = \phi \text{ incident} - \phi \text{ partant} = (\phi \text{ réfléchi} + \phi \text{ absorbé}) - (\phi \text{ réfléchi} + \phi \text{ émis}) \quad \text{eq (I.2)}$$

I.1.3.1.4.2 Corps noir :

corps qui absorbe tout le rayonnement incident, quelle que soit la longueur d'onde ou la direction incidente : il n'y a donc pas de flux réfléchi.

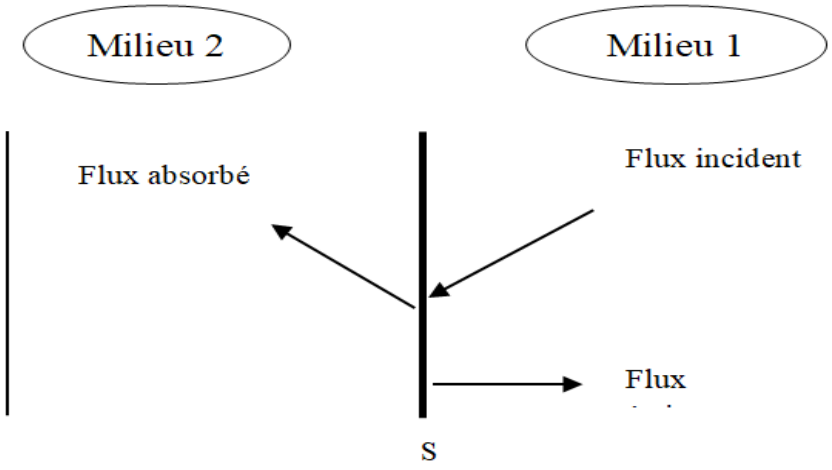


Figure I-9: Le sort du flux radiatif entrant pour les corps noir [17]

Une surface recouverte de noir de fumée se comporte approximativement comme un corps noir. Une enceinte isolée de l'extérieur munie d'une toute petite ouverture afin de ne pas modifier la température interne de l'enceinte et dont les parois sont absorbantes peut être modélisée par un corps noir.

Tout rayonnement qui pénètre dans l'enceinte par la petite ouverture va subir de multiples réflexions et être absorbé au fur et à mesure par les parois jusqu''à son absorption totale.

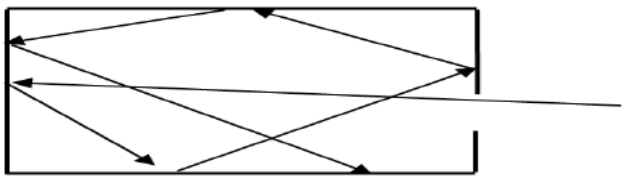


Figure I-10:rayonnement dans une enceinte [17]

I.2 Définitions :

Les transferts de chaleur sont déterminés à partir de l'évolution dans l'espace dans le temps de la température, T (x, y, z, t).

La variation dans le temps en un point M(x, y, z) du système est donnée par la dérivée partielle de T(x, y, z, t) par rapport au temps : $\frac{\partial T}{\partial t}$

Pendant un intervalle du temps dt la variation de la température en un point M sera :

$$dT = \frac{\partial T}{\partial t} dt \quad \text{.....eq(I.3)}$$

La variation dans l'espace à un instant t est donnée par de gradient de température :

$$\overrightarrow{\nabla T} = \overrightarrow{grad}\ T = \begin{bmatrix} \frac{\partial T}{\partial x} \\ \frac{\partial T}{\partial y} \\ \frac{\partial T}{\partial z} \end{bmatrix} \quad \text{.....eq(I.4)}$$

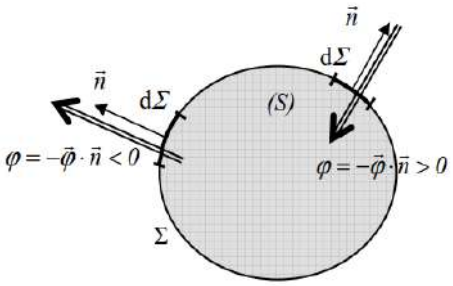
I.2.1 Flux de chaleur :

Un flux de chaleur est une quantité d'énergie transférée sous forme de chaleur par unité de temps. C'est donc une puissance, qui s'exprime en Watt (J/s) :

$$\Phi = \frac{Q}{t} = Q' \text{ en (W)} \text{..... eq(I.5)}$$

I.2.2 Densité de flux de chaleur :

En général, le flux échangé à travers une surface n'est pas uniforme sur toute la surface. On définit alors une densité de flux de chaleur, φ, qui correspond à un flux de chaleur par unité de surface (en W/m2). Exemple : flux de chaleur échangé par un système avec l'extérieur à travers une surface Σ *[17]* :



$$\boxed{\phi = \iint_{\Sigma} \varphi \, d\Sigma = \iint_{\Sigma} -\vec{\varphi}\cdot\vec{n} \, d\Sigma} \quad \text{.....eq (I.6)}$$

$\vec{n}$: est la normale extérieure à l'élément de surface $d\Sigma$.
Le signe (-) est introduit pour respecter la convention suivante: on compte positivement le flux qui entre dans le système.

Figure I-11:flux de chaleur échangé par un système avec l'extérieur à travers une surface Σ

I.3 Les expressions des différents flux :

I.3.1 Flux de chaleur échangé par conduction – loi de Fourier :

Ce mécanisme de transfert est régi par une loi phénoménologique établie par Joseph Fourier en 1822, stipulant que la densité de flux échangée par conduction est proportionnelle au gradient de température Cette loi, appelée loi de Fourier, s'écrit :

$$\vec{\varphi} = -\lambda \vec{\nabla} T \quad \textbf{en W /m}^2 \text{.....eq (I.7)}$$

Le signe (-) intervenant dans cette loi traduit le fait que le flux de chaleur circule des zones chaudes vers les zones froides (dans le sens opposé au gradient de température).

Le coefficient de proportionnalité, λ, est la conductivité thermique, en W/m/K. elle dépend de la nature du corps considéré et dépend généralement de la température. Elle traduit la capacité d'un matériau à transporter la chaleur par conduction.

Ainsi, pour un gradient de température donné, le flux de chaleur sera d'autant plus important que la conductivité sera grande. Pour les matériaux conducteurs de la chaleur, λ sera élevée et inversement sera faible pour les isolants.

Exemples à la température ambiante :

λlaine de verre = 0.04 W/m/K

λair = 0.026 W/m/K (l'air immobile est un très bon isolant)

λ verre = 1.2 W/m/K

λcuivre = 390 W/m/K

Par ailleurs, pour un flux de chaleur donné, le gradient de température sera d'autant plus faible que λ est grand. Pour des flux modérés, on pourra ainsi dans certains cas considérer que la distribution de température à l'intérieur d'un corps de grande conductivité thermique est quasi uniforme.

I.3.2 Flux de chaleur échangé par convection – loi de Newton :

Ce mécanisme de transfert est régi par la loi de Newton qui stipule que la densité de flux de chaleur échangé entre une paroi solide et un fluide en écoulement est proportionnelle à l'écart de température qui lui a donné naissance.

Du point de vue du solide (flux entrant dans le fluide ou sortant du solide) :

Si Tp > T∞: $\vec{\varphi} = h\,(Tp-T\infty)\,\vec{n}$ ……eq (I.8)

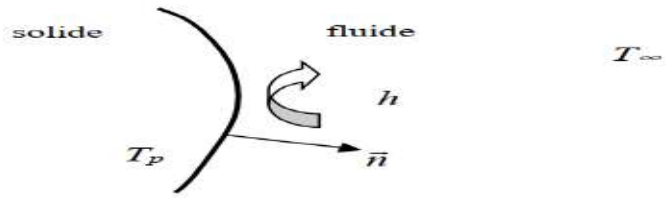


Figure I-12:la densité de flux de chaleur échangé entre une paroi solide et un fluide

Ce coefficient dépend de nombreux paramètres (fluide, type d'écoulement, état de surface…) et est donc extrêmement difficile à quantifier précisément.

I.3.3 Flux de chaleur échangé par rayonnement – loi de Stefan :

Le transfert de chaleur par rayonnement entre deux corps à des températures différentes séparés par du vide ou un milieu semi-transparent se produit par l'intermédiaire d'ondes électromagnétiques, donc sans support matériel. Ce mécanisme de transfert est régi par la loi de Stefan.Ex : corps de petite dimension placé dans une enceinte fermée. *[17]*

$$\boldsymbol{\varphi} = \varepsilon\boldsymbol{\sigma}(\boldsymbol{T_p^4} - \boldsymbol{T_c^4}) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{ eq (I.9)}$$

Ɛ: émissivité du corps ($0 < \varepsilon \leq 1$)

σ: C^{ste} de Stefan = 5.67. 10^{-8} W/m² /K^4

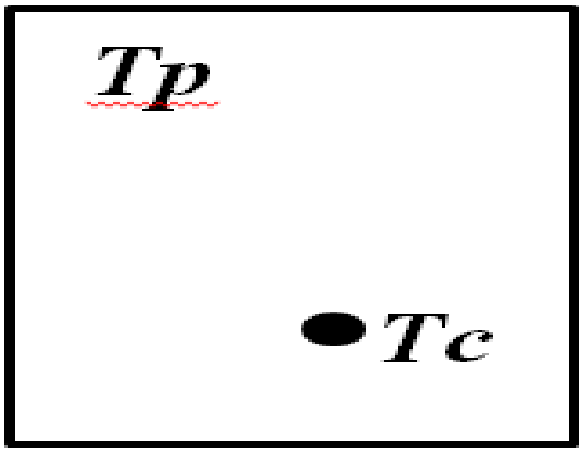


Figure I-13:la densité de flux de chaleur Echangé entre une paroi solide et un fluide[17]

II. Chapitre II : Généralités sur le refroidissement des panneaux solaire

II.1 Le soleil :

est une étoile de forme pseudo-sphérique dont le diamètre 1391000 km. Il est situé à une distance moyenne de 149598000km de terre. Sa lumière, a une vitesse de 300000km/s, met environ 8 minutes pour parvenir la terre. Le soleil décharge continuellement une énorme quantité d'énergie radiante dans le système solaire, la terre intercepte une toute petite partie de l'énergie solaire rayonnée dans l'espace. Une moyenne de 1367 watts atteint chaque mètre carré du bord externe de l'atmosphère terrestre (pour une distance moyenne Terre-soleil de 150 Millions de km), c'est ce que l'on appelé la constante solaire égale à 1367W/m².[5]

Avantages et inconvénients de l'énergie solaire : Les avantages de l'énergie solaire les plus importants sont:

II.1.1 Avantage :

Energie indépendante, le combustible (le rayonnement solaire) est renouvelable et gratuit.
Génère l'énergie requise.
Réduit la vulnérabilité aux pannes d'électricité.
L'extension des systèmes est facile, la taille d'une installation peut aussi être augmentée par la suite pour suivre les besoins de la charge.
La revente du surplus de production permet d'amortir les investissements voir de générer des revenus.
Entretien minimal.
Aucun bruit.

II.1.2 Inconvénients :

La fabrication des panneaux solaire relèvent de la haute technologie demandant énormément de recherche et développement et donc des investissements coûteux.
Les rendements des panneaux solaires sont encore faibles.
Nécessite un système d'appoint (batteries) pour les installations domestiques.
Le coût d'investissement sur une installation des panneaux solaire est cher.

II.2 Définitions :

II.2.1 Un panneau solaire :

est un dispositif destiné à récupérer le rayonnement solaire pour le transformer en énergie qui peut être de l'énergie thermique ou de l'énergie électrique.

Les panneaux solaires sont les éléments de base qui composent la plupart des équipements de production d'énergie solaire. Il existe 3 grands types de panneaux solaires :

Les panneaux solaires thermiques

Les panneaux solaires photovoltaïques

Les panneaux photovoltaïques thermiques

Les trois grands types de panneaux solaires sont :

II.2.2 Les panneaux solaires thermiques

Appelés aussi capteurs solaires thermiques, convertissent la lumière du soleil en chaleur, ils sont composés de capteurs qui absorbent la chaleur des rayons du soleil. Ces panneaux sont souvent utilisés dans la production d'eau chaude, le chauffage des habitations, les installations domestiques. On peut distinguer 2 types de panneaux solaires thermiques :

II.2.2.1 Les capteurs à eau :

Pour ce type de capteurs, la chaleur est absorbée par un liquide caloporteur qui circule dans des tubes munis d'ailettes. Ce sont ces ailettes qui captent la chaleur. Ces capteurs solaires à eau sont utilisés pour produire de l'eau chaude sanitaire dans un chauffe-eau individuel. Cependant, on peut aussi citer 3 types de capteurs à eau :

- ✓ les capteurs non vitrés : le liquide caloporteur est contenu dans des tubes en plastiques
- ✓ les capteurs non vitrés : la chaleur passe dans un caisson vitré et la retient comme dans une serre
- ✓ les capteurs à sous vides : ceux-ci sont constitués d'un ensemble de tubes de verre dans lesquels passe un tube qui collecte les chaleurs.

II.2.2.2 Les capteurs à air :

L'air est chauffé lorsqu'il circule dans les tubes, ce qui permet ensuite de chauffer l'habitat, le logement mais peut être aussi utilisé à des usages industriels ou agricoles.

II.2.3 Les panneaux solaires photovoltaïques :

Appelés aussi modules photovoltaïques, son principe de fonctionnement est de transformer la lumière produite par le soleil en électricité qui peut être directement utilisée. Ces panneaux sont un assemblage de cellules photovoltaïques qui comprennent :

Des panneaux solaires transformant la lumière en courant électrique

Un onduleur pour convertir cette électricité en courant alternatif

Un transformateur

Un compteur

Il y a actuellement 3 principaux types de panneaux photovoltaïques, qui sont différenciés par le type de cellules qui les composent :

Les cellules monocristallines

Les cellules poly cristallines

Les cellules amorphes

II.2.4 Les panneaux photovoltaïques thermiques :

Les panneaux photovoltaïques et thermiques sont des panneaux qui produisent à la fois de l'électricité et de l'énergie. Les éléments photovoltaïques transforment la lumière en électricité et la partie thermique récupère l'énergie envoyée par le rayonnement du soleil pour la transmettre à un élément caloporteur.

Ces panneaux peuvent être utilisés à toute installation classique : de l'eau chaude à usage domestique, le chauffage et les sanitaires

II.3 L'impact de la température sur la performance des panneaux solaires:

L'étude des performances d'un panneau PV à haute température pourra se faire par des tests de température dans des endroits chauds (les milieux désertiques), ou bien par des protocoles expérimentaux dans le laboratoire (des projecteurs lumineux) et aussi par des logiciels de simulation comme (Mahtlab, SCAPS...). Dans les paragraphes suivants nous allons présenter quelques travaux de recherche qui ont prouvé que la température provoque

une diminution considérable du rendement des cellules photovoltaïques. Dans le dernier chapitre nous allons effectuer des expériences réelles et aussi par projeteurs lumineux pour confirmer l'effet de la température sur la performance des panneaux PV. Par la suite nous allons découvrir d'autres effets de la température à part la chute du rendement. (Le vieillissement, le stresse mécanique)

II.3.1 L'impact de la température sur un panneau photovoltaïque de type mono-cristallin :

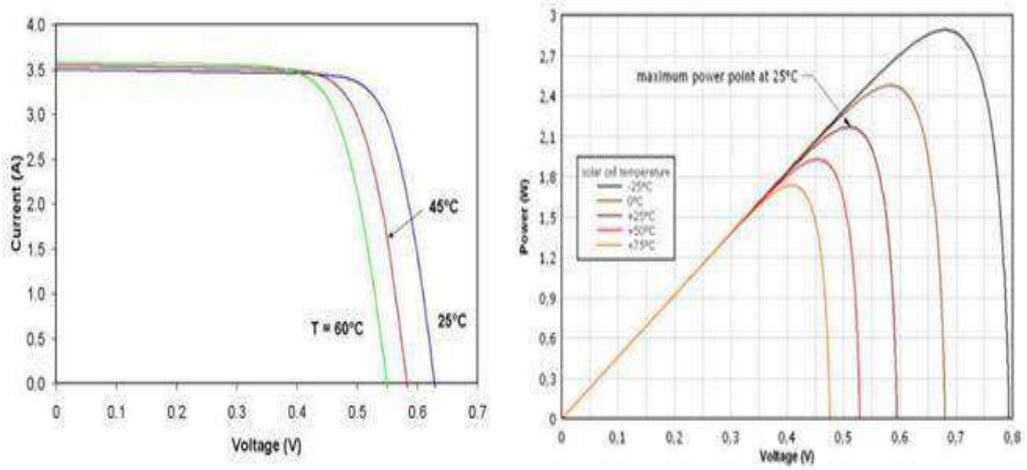


Figure II-1: La caractéristique I-V et P-V d'une cellule monocristalline [4]

Analyse :

D'après la figure qui représente la caractéristique courant tension I-V et puissance tension P-V d'une cellule monocristalline, on perçoit que pour une température de 60C° la tension donnée par cette cellule chute de 0.68V à 0.54V. La représentation graphique de la puissance en fonction de la tension indique aussi que la puissance d'une cellule photovoltaïque de type monocristallin démunie de 2.2W jusqu'à 1.65W à 75C° Dans la data-sheet d'un panneau de type monocristallin on trouve le coefficient de température de courant qui a la valeur de +0.05% /C°, la valeur positive signifie que le courant augmente avec la température, ce qu'on constate dans la figure (a). Par contre le coefficient de température de tension est de-0.34%/C°, la valeur négative indique que la tension diminue avec l'augmentation de la température, comme on voie dans la figure (b).

D'après ce qu'on a vu dans les paragraphes précédents, la température influe directement sur la caractéristique I-V de la cellule photovoltaïque à base de silicium

monocristallin, dont elle provoque une chute significative de tension et donc une chute de puissance.

II.3.2 L'impact de la température sur les panneaux photovoltaïques poly cristalline :

Pour une cellule poly cristalline, le courant de court-circuit augmente légèrement avec l'augmentation de la température or que la tension diminue d'une façon significative. La température a un effet remarquable particulièrement sur la tension, dont elle provoque une chute considérable. La puissance maximale diminue si la température du panneau augmente.

Les travaux antérieurs de refroidissement des panneaux photovoltaïques :

II.4 Les technologies de refroidissement :

Tout système de puissance doit être doté d'un dispositif de refroidissement. Notamment les panneaux PV. Pour éviter la dégradation de ses performances qui est principalement dû à l'augmentation de la température, beaucoup de systèmes ont été développé pour diminuer la température du panneau photovoltaïque. Les systèmes proposés se divisent en deux types :

Des systèmes actifs

Des systèmes passifs

II.4.1 Les systèmes passifs pour le refroidissement des panneaux PV :

Cette catégorie inclue les systèmes qui ne consomment pas d'énergie pour refroidir le panneau, tenant comme exemple :

II.4.1.1 Le refroidissement par trous :

Cette méthode a prouvé son efficacité par des travaux de recherche [1.19], ils ont trouvé qu'à une température de 75C° le panneau perd 25% de son rendement, surtout au nord de l'Afrique et dans les pays du golfe. Le refroidissement se fait par convection naturelle entre l'air ambiant et les cellules PV. Les tours sont localisés dans les zones neutres du panneau(ne contiennent pas de cellule PV), évidement le nombre et le diamètre de ces trous influe sur la qualité du refroidissement. Ils sont arrivés à atteindre une différence de 8C° qui est équivalente à 8% de l'efficacité. Les valeurs maximales sont enregistrées à midi avec une

différence entre le panneau troué et le panneau non troué est de 13C°. Ils ont remarqué que la température du panneau diminue de 66C° jusqu'à 53C°.

Tableau II-1:Les résultats expérimentaux des panneaux troués [12]

Number of holes	Holes density= $\frac{\text{Number of holes}}{\text{Panel's area}}$	Average Temp. T	Decrease in Temp., $\Delta T = T_{\text{no holes}} - T_{\text{holes}}$
0 (No holes)	**0**	**70°C**	**0°C**
3	11.5 hole/m^2	58°C	12°C
6	**23 hole/m^2**	**54°C**	**16°C**
9	34.5 hole/m^2	52°C	18°C
12	**46 hole/m^2**	**51°C**	**19°C**

Le tableau (II.1) représente des valeurs expérimentales qui prouve que les trous contribuent à diminuer la température des panneaux on remarque que de plus la densité des trous est élevée de plus la température diminue.

II.4.1.2 La limitation de la surchauffe d'un panneau PV par un séparateur de faisceau :

Cette méthode est aussi passive. Elle se base sur l'un des caractéristiques de la technologie de silicium. D'après ce que nous avons détaillé dans les paragraphes précédents, les panneaux en silicium n'absorbent pas tout le spectre solaire, il n'y a qu'une seule partie du spectre (la partie visible du spectre) qui sera absorbé par le capteur et donc contribue à la production de l'électricité c'est la partie opérationnelle du spectre. Cette approche consiste à scinder le spectre solaire à l'aide d'un séparateur de faisceau, et donc elle laisse passer que la partie du spectre qui contribue à l'effet photovoltaïque l'autre partie sera éliminer avant d'atteindre la surface du panneau.

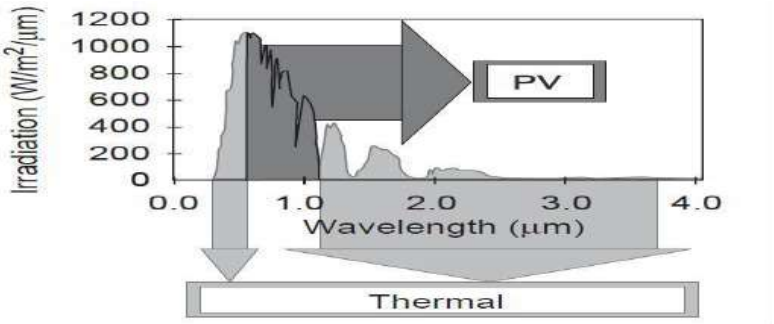


Figure II-2:: Courbe qui représente la séparation du spectre solaire en partie PV et une partie thermique [13]

On voit dans la figure (II.2) que la partie thermique du spectre est plus grande que la partie photovoltaïque. Cela explique le réchauffement rapide des panneaux PV, or que cette partie du spectre sera très utile avec l'intégration d'un concentrateur thermique donnant ce qu'on appelle un système hybride PVT. [16]

II.4.1.3 La régulation thermique du module PV par un matériau de changement de phase MCP:

Le but de l'utilisation d'un matériau à changement de phase (MCP) intégré aux modules PV est de maintenir leurs températures proches de la température ambiante. Le principe c'est d'absorber l'excès de chaleur par le MCP jusqu'à ce qu'il se fonde (par exemple : le sel la paraffine …). Le prototype expérimental a été conçu par Huang et al, ou ils ont fait une étude numérique validée expérimentalement. Ils ont conçu une unité de refroidissement d'un panneau PV en utilisant un MCP dans une enceinte rectangulaire.

Les essais expérimentaux de ce système derrière un PV ont trouvé des résultats encourageants : sa température est maintenue à 36°C pour 150 min pour la configuration sans ailettes et à 30°C pondant 150 min pour une configuration à quatre ailettes, sous un flux de chaleur de 750 W/m2, et une température ambiante de 20°C. Et à une température ambiante de 25C° avec un rayonnement de 1000W/m². La température du module est maintenue à 40C° pendant 80min, avec un MCP de température de fusion de 32C°. Les ailettes sont ajoutées pour bien répartir le flux de chaleur. Le nombre des ailettes est un paramètre important, de plus en augmente le nombre des ailettes de plus le système est efficace. Le type de MCP aussi joue un rôle primordial dans cette technique, des travaux de recherche ont varié le type de MCP ils ont marqué une température minimale de 10C° avec un rayonnement de 1000W/m² pendant 5 heures.

Cette méthode a prouvé son efficacité mais elle reste encore derrière les portes des laboratoires.

II.4.2 Les systèmes actifs pour le refroidissement des panneaux PV :

II.4.2.1 Le refroidissement des panneaux PV par un collecteur thermique :

Le refroidissement par collecteur thermique est une technique efficace, à double bénéfice. Elle permet d'obtenir une énergie thermique et électrique, mais elle est couteuse.

Car chaque panneau doit être doté d'un collecteur thermique en arrière. Le problème du réchauffement des panneaux PV à était posé bien longtemps par des chercheurs qui ont développé des systèmes hybrides solaire thermique. Martin Wolf [1.26], a abordé en 1976 la première étude concernent le photovoltaïque thermique PV/T. Cette étude a été suivie par une série d'autres études qui entament toujours le PV/T. Entre-le PV/T et le refroidissement des panneaux PV il y a une légère différence, c'est la récupération de la chaleur retirer des panneaux PV sous forme d'eau chaude sanitaire. L'installation des systèmes PV/T est considéré même ces jours-là trop chers, pour cette raison on préconise d'améliorer le rendement des panneaux PV par des systèmes de refroidissement bien adapter aux besoins. [14]

II.4.2.2 Le refroidissement par pulvérisation d'eau de panneau :

Cette méthode est aussi à double bénéfice elle assure à la fois le nettoyage et le refroidissement. Parmi les travaux on cite :

II.4.2.2.1 Le système de Suni-Brain En France,

Il y a une société qui a commercialisé le système et l'installe chez les clients qui ont tous remarqué une amélioration des performances. Cette société s'appelle SUNI Brain, est une start-up française. Elle a fait des études qui montrent que le panneau peut atteindre une température de surface de 100C° (ceci est en France), sans aucun système de refroidissement les conditions extrêmes provoquent un stress mécanique aux cellules photovoltaïques. Ce système non seulement assure un rendement optimal par refroidissement et nettoyage mais aussi permet l'allongement de la durée de vie des panneaux photovoltaïques. Ce système est breveté dans 30 pays.

Le principe de fonctionnement et de faire circuler l'eau en traversant la surface du panneau grâce aux pompes et des arrosoirs revenant au réservoir de stockage (cycle fermé). Cette circulation de l'eau de pluie récoltée est effectuée avec le minimum l'énergie. Le système de SUNI Brain est un système totalement autonome (système automatisé), suit 4 étapes :

- La récole de l'eau de pluie
- Le stockage de l'eau de pluie dans un réservoir de stockage

- Arrosage des panneaux en cas de besoin Enregistrement des données pour des futurs travaux de maintenances Ce système a pu assurer une augmentation du rendement avec 20→25%.



Figure II-3: Système de refroidissement SUNI Brain par arrosag

II.4.2.2.2 Le système de refroidissement conçu par le CDER :

Parmi les systèmes de refroidissement déjà existant, on a le système de refroidissement et de nettoyage. [1.20] Le prototype conçu par exemple en algerie à l'Unité de Développement des Energies Renouvelables de Bousmail, EPST CDER, assure la circulation de l'eau sur la totalité de la surface de la face avant du panneau photovoltaïque. Cette dernière est faite avec une pompe de 12V contrôlée par une armoire électrique et cela en fonction de la température. Le système est muni d'un régulateur de charge pour gérer et sécuriser le stockage de l'électricité dans la batterie de 150 Ah. Pour éviter le dépôt d'une couche de calcaire ou autre, un filtre est installé avec un réservoir de 12L d'eau distillée. Une matrice de thermocouple est installée sur le panneau pour surveiller en permanence l'évolution de la température. Les données de températures sur la face avant et arrière sont stockées dans l'ordinateur.

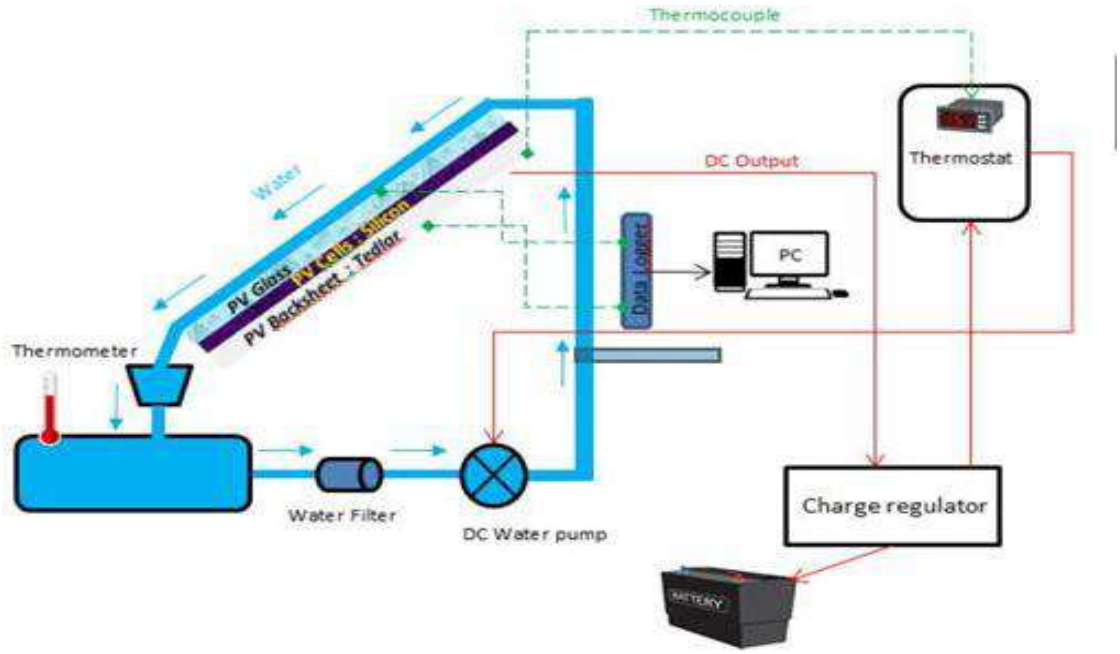


Figure II-4:schéma descriptif du système conçu par CDER

- Le panneau utilisé : 150W de 1.08m2 référence PS-M605-150 son constructeur Philadelphia Solar company.
- La pompe utilisée : pompe DC 12V Santoprene®diaphragm, référence 8000-443-136 avec une puissance de 38,4 W

L'expérience est faite durant une journée d'été où l'irradiation moyenne de 870W/m². Après 40min d'exposition, la température augmente jusqu'à 70°C sur la face avant. Le cycle de refroidissement adopté est de 30 min durant lequel la circulation d'eau est de 6min. Il permet d'abaisser la température la face avant jusqu'à 40°C et la stabilisée. Après 24min la pompe se réactive.

Durant le cycle de refroidissement, le rendement a augmenté de 2%. Le surplus de l'énergie produite couvre la consommation de la pompe qui sera commune entre un string de panneaux PV. Le gain quantifié entre un panneau refroidi et chauffé est de 15W. Ce premier prototype a pour but d'optimiser le refroidissement qui engendre une baisse de l'énergie consommée par la pompe.

II.5 Les avantages du refroidissement des panneaux PV :

Depuis que la technologie des cellules solaires cristallines à base de silicium a pris sa place dans le domaine de production de l'énergie propre, plusieurs défis sont apparus, non seulement en termes de coût et de rentabilité des systèmes installés, mais aussi la durée de vie des modules et ses performances dans les différentes conditions météorologiques. En revanche les chercheurs ainsi que les ingénieurs ont été mis devants des chalenges pour améliorer l'exploitation de ces systèmes pour augmenter le rendement et la durée de vie.

La température élevée entraine sur la durée un vieillissement prématuré. Il est donc essentiel d'aérer les panneaux pour apporter un surplus de refroidissement par convection. On peut réduire ainsi la température de 20%, à condition qu'il y ait un peu de vent.

Dans les régions très ensoleillées, les cellules subiront des conditions beaucoup plus sévères que celles qui sont décrites dans les notices. Les cellules PV sont montées dans un cadre qui permet la circulation d'un fluide de on peut adopter soit des systèmes de refroidissement par l'air, ou par l'eau, pour assurer :

- Abaissement de la température des cellules.
- Augmentation du rendement électrique.
- Prolongation de la durée de vie.
- Et parfois le nettoyage de la surface

Les installations photovoltaïques actuelles n'utilisent que 10 % de l'énergie reçue. La technologie hybride permet de porter ce rendement à plus de 50%, et donc d'optimiser l'utilisation de surface tout en garantissant la fiabilité.

II.6 Ralentissement du vieillissement des panneaux photovoltaïques :

Les tests effectués en sortie de l'usine servent à éliminer les pièces défaillantes mais ils ne donnent pas des informations bien précises sur la durée de vie. Ils existent différents types de tests parmi :

- Les tests qui assurent que le modèle satisfait les normes.
- Des tests de vieillissement accéléré.

Les normes mondiales et les règles de l'art disent qu'un semi-conducteur de puissance doit être muni d'un système de refroidissement pour maintenir la température de la jonction à une valeur bien déterminée. Les panneaux photovoltaïques sont des systèmes qui reçoivent une puissance de 1000W/m², dans les zones chaudes comme l'Algérie la puissance reçue atteint les 1043W/m² (mesurée sur le site de Tlemcen). Environ 16% sera transformer en puissance électrique utile, et l'autre partie sera dissipé sous forme de chaleur. En absence d'un système de refroidissement cette chaleur va contribuer à l'augmentation de la température.

La certification des panneaux PV se fait après avoir effectuée des tests de vieillissement accélérés. Le mécanisme de dégradation des modules PV est soumis aux plusieurs facteurs, principalement la température et l'humidité. Pour prolonger la durée de vie d'un module PV, il faut assurer :

- Le bon entretient.
- Rapprocher les conditions de fonctionnement le maximum aux conditions standards de fonctionnement STC (température, humidité, rayonnement …)

Les technologies qui interviennent dans la conception d'un panneau PV lui rendre un objet de haute technicité ce qui exige des conditions de fonctionnement critiques. En sortant de laboratoire, les panneaux PV sont exposés à des conditions extrêmes de la nature, comme : Pluie, neige, grêle, poussières abrasives, embruns salés, pluies acides, rayons UV, ammoniac (milieu agricole), chocs, corrosion.

Les panneaux PV fonctionnent dans des températures extrêmes des milieux désertiques avec une valeur qui dépasse les 49C° ambiante, sans aucun dissipateur thermique. Au long de 25 ans de fonctionnement il y a 9000 alternances jour/nuit, avec un écart de température important (20C° à 23C°)à chaque cycle de température la surface du panneau subit des contraintes de dilatation de plusieurs millimètres. Ce régime dure subit toute au long des 25 ans pénalise la fiabilité du produit et le fragilise, ce qui implique le disfonctionnement du module et lui empêche de donner une puissance optimale.

Le vieillissement des modules PV se traduit par différents types de dégradations. Ces dégradations touchent les différentes parties constitutives d'un panneau PV :

- Le verre
- Les matériaux d'encapsulation (EVA, thermoplastique),
- La cellule en silicium, les matériaux réflecteurs à l'arrière de la cellule (aluminium et Tedlar par exemple),
- Les collecteurs de charges et la feuille en polymère résistant à l'arrière. (Barresbus)

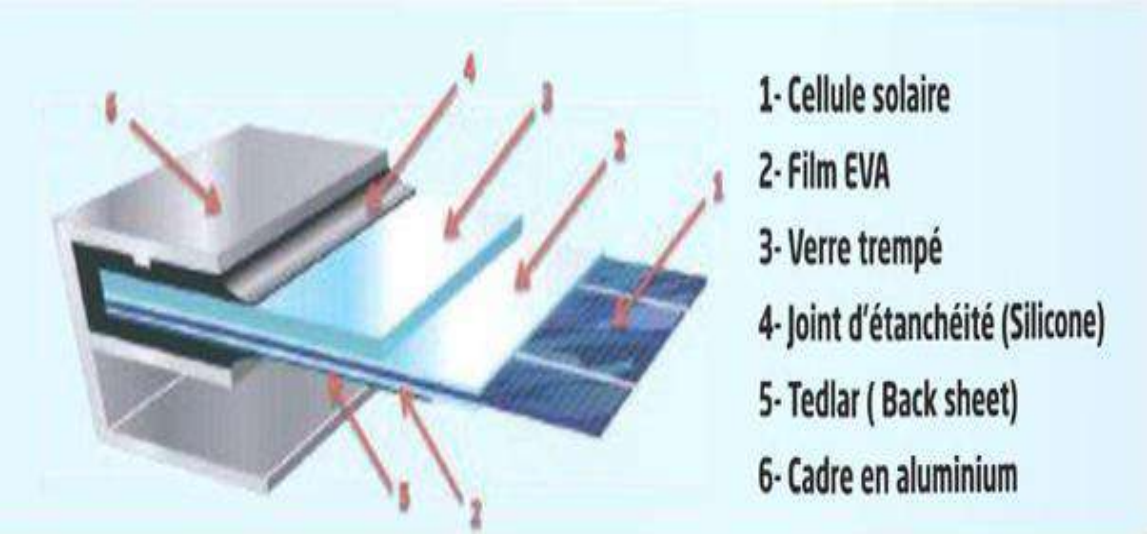


Figure II-5: exemple de contenance d'un panneau solaire PV

La dégradation touche les parties que nous avons cité avant et elle peut apparaitre sous forme de :

- Jaunissement de l'encapsulant
- Délamination
- Bulles
- Corrosion (hot spots)
- Fissuration
- Stresse mécanique
- Court-circuit au niveau d'une cellule.
- Claquage par formation d'arc électrique.
- Craquage de la plaquette de Si (contraintes de dilatation).
- Délaminage des couches de protection.
- Détérioration d'une ou plusieurs diodes de by-pass.

- Hotspot.
- Jaunissement ou brunissement du matériau d'enrobage (EVA ou autre).
- Détérioration du traitement anti-réflexion.
- Pénétration d'humidité ou de moisissure.
- Corrosion électrochimique.
- Surchauffe (mauvais refroidissement).
- Claquage du verre de protection (contrainte de dilatation suite à mauvais montage).
- Détérioration des contacts électriques par corrosion.

Le système de refroidissement sert principalement à diminuer la température des cellules, donc évidement les pannes qui sont reliés à la température deviennent moins fréquentes, on peut dire que la température influe directement sur les performances des cellules photovoltaïques.

II.7 Le nettoyage des panneaux :

Le nettoyage peut se faire dans le cas de refroidissement des panneaux PV en face avant par un jet d'eau. Le nettoyage périodique est nécessaire car l'accumulation de la poussière sur la surface du panneau diminue le rayonnement absorbé par le panneau. Des chercheurs ont précisé le pourcentage de la chute en rendement par17.4%ce qui est énorme, en absence du nettoyage automatique, le rendement de l'installation PV diminue. Pour cela beaucoup de chercheur favorisent le refroidissement face avant car non seulement il limite la température du panneau mais aussi il assure un nettoyage continu. On a 2 types habituels de nettoyage des panneaux solaire PV :

II.7.1 Nettoyage à sec :

- Au moyen de brosses manuelles souples agrées par le fabricant de modules PV pour éviter les détériorations de la surface du module PV
- Au moyen de brosses montées sur panneaux roulants permettant un nettoyage plus rapide

II.7.2 Nettoyage à l´eau :

- Nettoyage au moyen de kits de brossage spécifiques agrées par le fabricant de modules PV ;

- Nettoyage au moyen de jet d´eau à faible pression (nécessité de prévoir un réservoir mobile dans ce cas) ;
- A noter que l´eau devra présenter un niveau de salinité faible (eau de mer à proscrire).

II.7.3 Combien de fois par an dois-je nettoyer mes panneaux photovoltaïques ?

- Un nettoyage annuel ou semestriel dans nos régions peu arrosées est recommandé pour enlever les saletés, mousses et poussières qui encrassent les panneaux nuisent à leurs performances.
- Le nettoyage à l'eau pure des panneaux solaires doit s'effectuer une à deux fois par an.
- La période la plus fructueuse est celle de fin mars à fin octobre. Le premier nettoyage qui s'impose est donc celui du début du printemps.



Nettoyage avec brosse rotative



Nettoyage par Solarwash

Figure II-6:nettoyage des panneaux solaires

III. Chapitre III : Model physique et formulation numérique

III.1 Initiation à la simulation numérique des écoulements des fluides (CFD) :

Depuis quelques années, l'accroissement de la puissance des ordinateurs et le développement des méthodes numériques ont permis de conduire des calculs tridimensionnels de l'écoulement dans plusieurs configurations, tout en tenant compte de l'effet de la viscosité et de la turbulence. Ce progrès a fait de la modélisation numérique de l'écoulement ou CFD (Computational Fluid Dynamic) un outil de plus en plus important pour le développement et l'optimisation du dimensionnement de différents procédés industriels.

Parmi le large éventail des codes de calcul de l'écoulement connus on peut citer : CFX, Fluent, Numeca, Star-CD, Openfoam etc…

Dans ce chapitre on va parler sur le model physique et les formulations numériques utilisant l'outil de simulation numérique qui s'apelle le logiciel ANSYS. Alors c'est quoi l'ANSYS ?

III.2 Logiciel de simulation ANSYS :

ANSYS est un logiciel de simulation numérique FEM leader de son marché utilisé dans le développement de produits industriels. Il couvre toutes les étapes nécessaires à une simulation : le traitement géométrique, le maillage, la résolution, le traitement de résultats et l'optimisation. ANSYS offre une plateforme de calcul multi-physique intégrant la mécanique des fluides et des structures, l'électromagnétisme, la thermique ainsi que la simulation de systèmes et de circuits.

Les utilisateurs ANSYS sont de domaines industriels différents telles que la construction de machines, les secteurs de l'énergie, l'automobile, le ferroviaire, l'aérospatial, le médical, la microtechnique, la micro-électronique ou encore les biens de consommation.
CADFEM est le centre de compétences et le partenaire d'Ansys en Europe et en Afrique du Nord.

III.2.1 Présentation de l'ANSYS ICEM CFD :

Ce module permet de préparer la configuration géométrique du problème étudié et de générer le maillage de manière assez conviviale bien qu'assez simple. Dans le cas de notre travail on a fait recours à l'ICEM CFD, l'un des avantages de ce logiciel, est sa simplicité ainsi que sa robustesse envers la réalisation des géométries les plus complexes. Pour le maillage, ICEM CFD utilise des structures mono ou multi-blocs en fonction de la géométrie, il permet de générer deux types de maillages, entre autre le maillage tetrahedral et le maillage hexahedral. Pour chaque configuration (géométrie – maillage) un fichier de donnés (*.cfx5) doit être exporté ver CFX. L'interface graphique de l'ANSYS ICEM CFD est montrée sur la figure 2 et contienne les éléments suivants.

III.2.1.1 Menu Principale :

Plusieurs des éléments de menu suivants sont accessibles sous forme d'icônes dans le coin supérieur gauche.

Fichier :

Le menu Fichier permet de créer ou d'ouvrir des projets existants, de charger et d'enregistrer des fichiers, d'importer et d'exporter des géométries et d'initialiser les scripts.

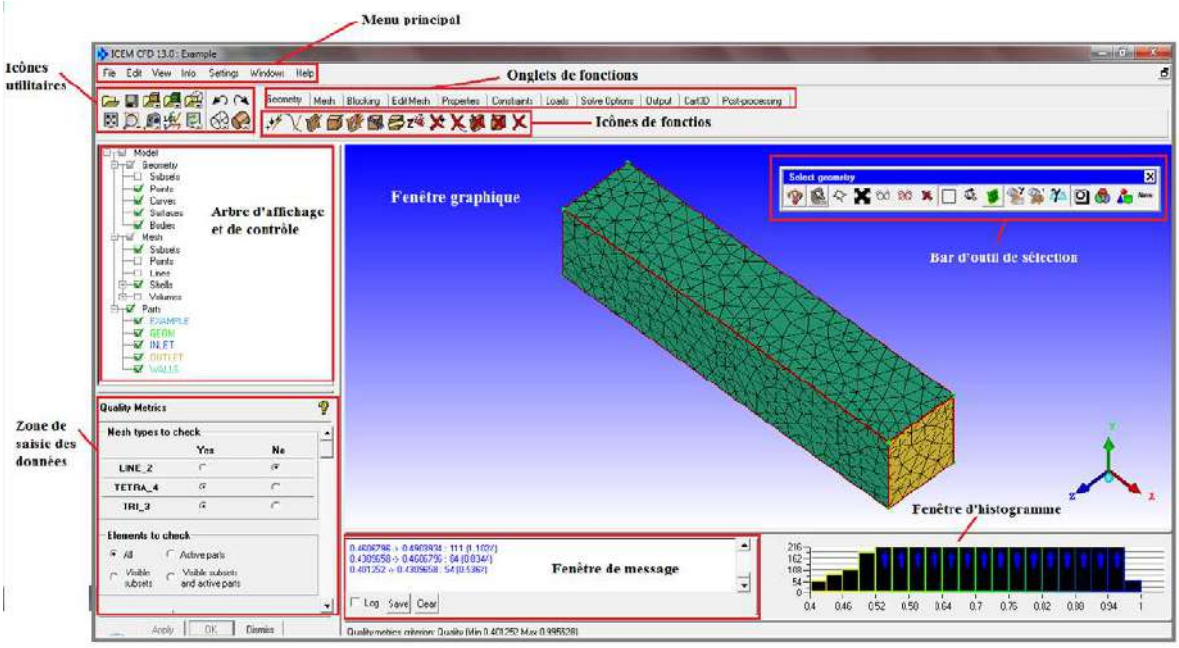


Figure III-1: Interface graphique de l'ANSYS ICEM CFD

- **Modifier :** Ce menu contient Annuler / Rétablir, l'option d'ouvrir une fenêtre de shell et diverses commandes internes de conversion de maillage / géométrie.
- **Affichage :** contient diverses options pour la vue standard, les contrôles et les annotations.
- **Info :** Ce menu permet à l'utilisateur d'obtenir diverses informations concernant la géométrie, le maillage et les entités individuelles.
- **Paramètres :** contient les paramètres par défaut pour les performances, les graphiques et autres paramètres les plus susceptibles d'être utilisés plus de 90% du temps par un utilisateur spécifique.
- **Aide :** Contient des liens vers des didacticiels, des guides d'utilisation et des informations sur la version.

III.2.1.2 Utilitaires :

Représentation des icônes de certaines des fonctions les plus couramment utilisées représentées dans le menu principal, y compris l'ouverture / la fermeture d'un projet, l'annulation / refaire, et les options d'affichage. Il comprend également la mesure et la configuration des systèmes de coordonnées locales.

III.2.1.3 Fonctions :

La fonctionnalité principale pour l'ensemble du processus de génération de grille est accessible via les onglets de fonctions qui incluent: la géométrie, le maillage, le blocage, l'édition du maillage, la sortie, le post-traitement, etc.

III.2.1.4 L'arbre de commande d'affichage :

L'arborescence de contrôle d'affichage, également appelée l'arborescence d'affichage, dans la partie inférieure gauche de l'écran, permet de contrôler l'affichage par partie, entité géométrique, type d'élément et sous-ensembles définis par l'utilisateur.

III.2.1.5 Fenêtre de message :

La fenêtre Message contient tous les messages que l'ANSYS ICEM CFD écrit pour garder l'utilisateur informé des processus internes. La fenêtre Message affiche le communicateur entre l'interface graphique et les fonctions de géométrie et de maillage. Il est

important de garder un œil sur la fenêtre de message, car il gardera l'utilisateur informé de l'état des opérations. Toute information demandée, telle que la distance de mesure, la surface, etc., sera signalée dans la fenêtre de message.

III.2.1.6 La fenêtre Histogramme :

Montre un graphe représentant la qualité du maillage. L'axe des X représente la qualité de l'élément (habituellement normalisé entre 0 et 1) et l'axe Y représente le nombre d'éléments.

III.3 Simulation numérique :

Dans cette partie nous allons employer un problème spécifique et nous allons visualiser les résultats. Le but des simulations numériques est de déterminer la vitesse et la pression du fluide quand il passe dans un canal avec un changement brusque de la forme.

III.3.1 Conduction d'une simulation numérique :

Une simulation numérique passe par trois étapes principales, à savoir : la préparation, la solution et le traitement des résultats.

III.3.1.1 Pré processing (prétraitement) :

Préparation des données du problème (géométrie du domaine de calcul, génération du maillage de discrétisation, définition des phénomènes physiques et chimique du processus, détermination des propriétés du fluide, spécification des conditions aux limites).

III.3.1.2 La résolution:

C'est la solution du problème par une méthode numérique

III.3.1.3 Post processing (post-traitement) :

Visualisation du domaine de calcul et du maillage, tracé des vecteurs de vitesse et des lignes de courant, contours, extractions de surfaces bien définis, manipulation des graphes (translation, rotation, et redimensionnement).

III.4 Modélisation numérique :

III.4.1 Modélisation géométrique :

Le système de capteurs PV/T est composé de trois couches, à savoir une couche de verre (dont l'épaisseur est e=3 mm), la Cellule PV (e=0,2 mm) et une couche de tedlar (e=0,1 mm). Le les propriétés thermo physiques des matériaux sont isotropes et indépendant de la température. Ils sont présentés dans le tableau (III.1). Les résistances de contact thermique entre chaque couche constituant la cellule solaire sont négligées.

Tableau III-1 : Propriétés radiatives et thermo physiques des couches constitution du module PV [30]

matriaux	**Absorptivité**	**Transmittivité**	**Émissivité**
verre	0,04	0,92	0,85
Cellule PV	0,9	0,02	-
tedlar	0,128	0,012	0,9
matriaux	(kg.m-3)	CP (J.kg-1.K-1)	k (W.m-1.K-1)
verre	2450	500	2
Cellule PV	2330	677	148
tedlar	1200	1250	0,36

La cellule photovoltaïque est refroidie par le bas par circulation d'air dans un conduite rectangulaire. L'air est censé être newtonien et incompressible. Le transfert de chaleur et l'écoulement de fluide sont simulés en 2D. Les dimensions du canal sont L = 1,2 m et H = 20 mm. Nous ajoutons une fois des ailettes rectangulaires (l' = 15 mm, l = 20 mm), et encore une semi-circulaire (D = 20 mm, R = 30 mm) dans le conduit pour améliorer le refroidissement de la cellule solaire.

III.4.1.1 1er modèle :

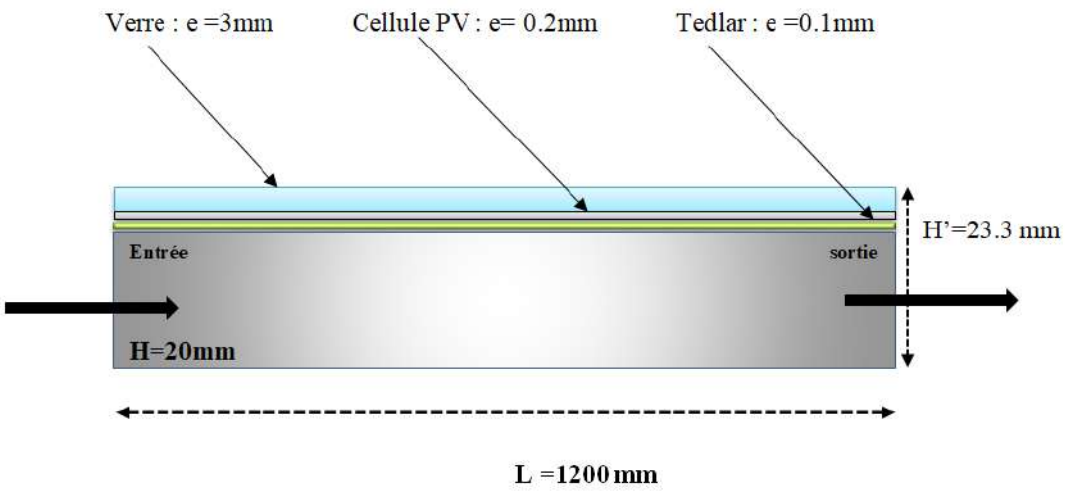


Figure III-2:schéma descriptive de la configuration géométrique (vierge)

III.4.1.2 2eme modèle :

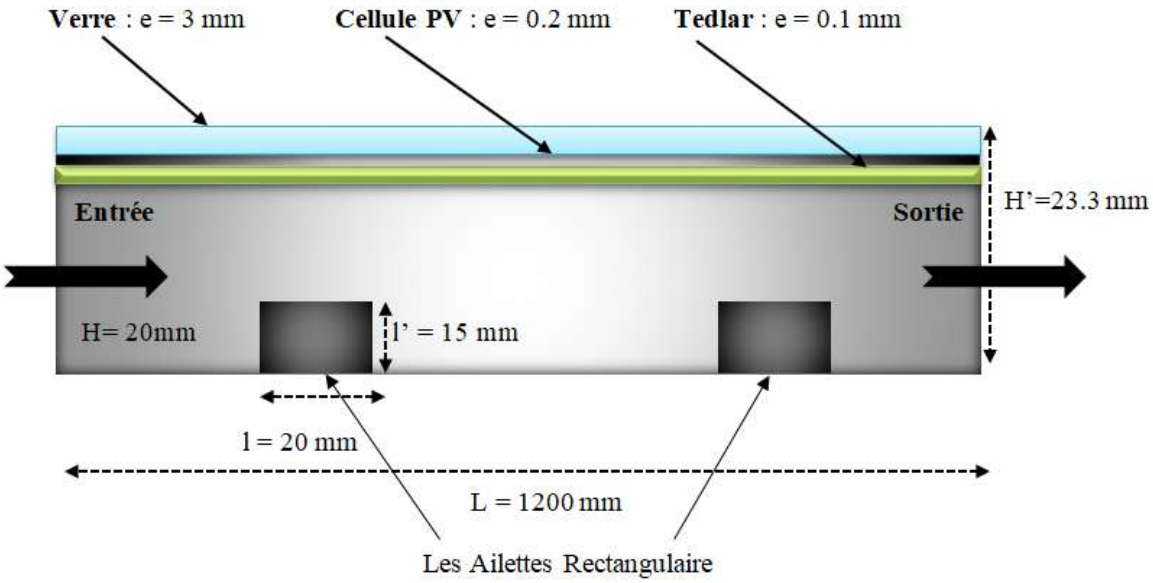


Figure III-3:schéma descriptive de la configuration géométrique avec 2 ailettes rectangulaire

III.4.1.3 4eme modèle :

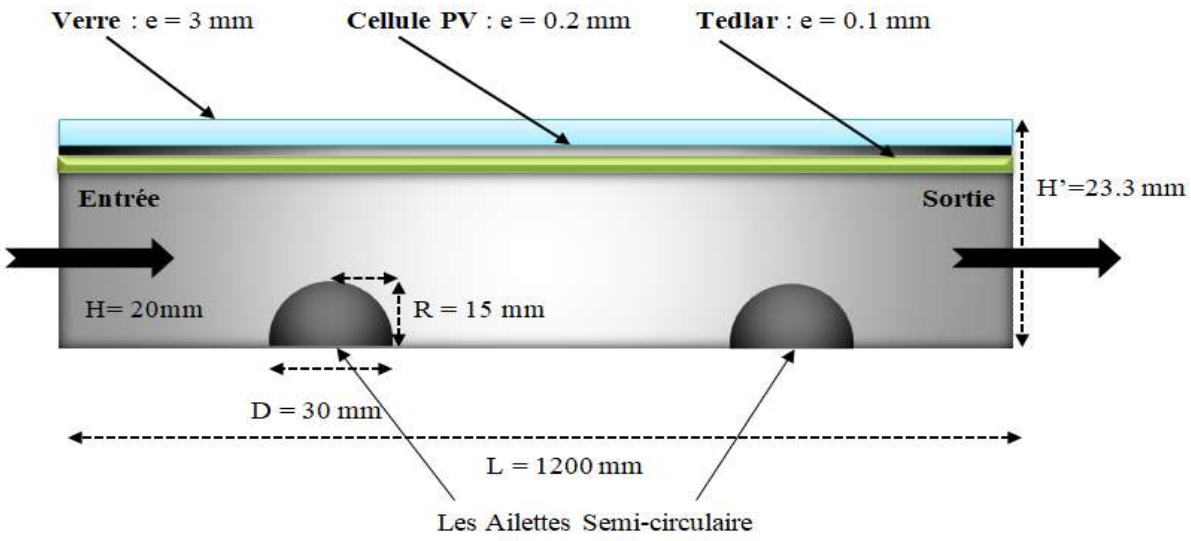


Figure III-4:schéma descriptive de la configuration géométrique avec 2 ailettes semi-circulaire

III.5 Formulation Mathématique :

La relation mathématique décrivant l'écoulement du fluide dans les conduits à chicanes et à ailettes considérés peut s'écrire suit :

$$\frac{\partial}{\partial x}(\rho u\varphi) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v\varphi) = \frac{\partial}{\partial x}\left[\Gamma_\varphi \frac{\partial \varphi}{\partial x}\right] + \frac{\partial}{\partial y}\left[\Gamma_\varphi \frac{\partial \varphi}{\partial y}\right] + S_\varphi$$

φ = (u, v, k, ε and T),

u: vitesse x

v: vitesse y

k: énergie cinétique

ε: taux de dissipation turbulent,

Γ_φ: coefficient de diffusion turbulente,

Équations pour φ, Γ_φ et S_φ :

Continuité : $\varphi = 1$

$\Gamma_{\varphi} = 0$

$S_{\varphi} = 0$

X-momentum : $\varphi = u$

$\Gamma_{\varphi} = \mu_e$

$$S_{\varphi} = \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x}\left[\mu_e \left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)\right] + \frac{\partial}{\partial y}\left[\mu_e \frac{\partial v}{\partial y}\right]$$

Y-momentum : $\varphi = v$

$\Gamma_{\varphi} = \mu_e$

$$S_{\varphi} = \frac{\partial P}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x}\left[\mu_e \left(\frac{\partial u}{\partial y}\right)\right] + \frac{\partial}{\partial y}\left[\mu_e \frac{\partial v}{\partial y}\right]$$

L'énergie de fluide : φ = T

$\Gamma_{\varphi} = \frac{\mu_e}{\sigma_T}$

$S_{\varphi} = 0$

Al solide énergie : φ = T

$\Gamma_{\varphi} = k_s$

$$S_{\varphi} = \frac{\partial}{\partial x}(\rho_s u T) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho_s v T)$$

Turb-énergie cinétique : $\varphi = k$

$$\Gamma_{\varphi} = \mu_I \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon}$$

$$S_\varphi = \frac{\varepsilon}{k}(C_{1\varepsilon} G_k - C_{2\varepsilon} \rho_s \varepsilon)$$

$$\mu_{eff} = \mu_l + \mu_t$$

$$\mu_t = f_\mu \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon}$$

$$G_k = \mu_t \left\{ 2\left[\left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial y}\right)^2 \right] + \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x}\right)^2 \right\}$$

$C1\varepsilon = C3\varepsilon = 1.44$, $C2\varepsilon = 1.92$, $C\mu = 0.09$, $\sigma_k = 1.0$, $\sigma\varepsilon = 1.3$, and $\sigma_T = 0.85$

IV. Chapitre IV : Résultats et Discussions

IV.1 Application sur L'ANSYS WORKBENCH 15.0 :

IV.1.1 Effets des variables physiques :

IV.1.1.1 Pour le model 01 : (canal vierge)

les quatre figures suivantes sont des résultats issus du programme de simulation numérique Ansys, qui montre sur la figure A que la température est basse puis augmente progressivement sur la longueur du canal, ce qui témoigne de son confinement à l'intérieur avant le passage de l'air (refroidissement liquide), et donc on constate qu'il est haut à la sortie du canal alors qu'il est bas à l'entrée et c'est la preuve que l'air l'a poussé vers l'extérieur, alors qu'on remarque aussi sur la figure (b) une diminution relative de pression, donc sa valeur est élevée à l'entrée (au moment où l'air est emprisonné) puis diminue progressivement et cela est dû à la vitesse d'écoulement constante indiquée dans La figure suivante (c) montre également la dernière figure (d) l'augmentation relative en énergie cinétique égale au travail nécessaire pour accélérer un corps, d'un état de repos à une certaine vitesse de déplacement, qu'il s'agisse d'une ligne droite constante ou d'un angle.

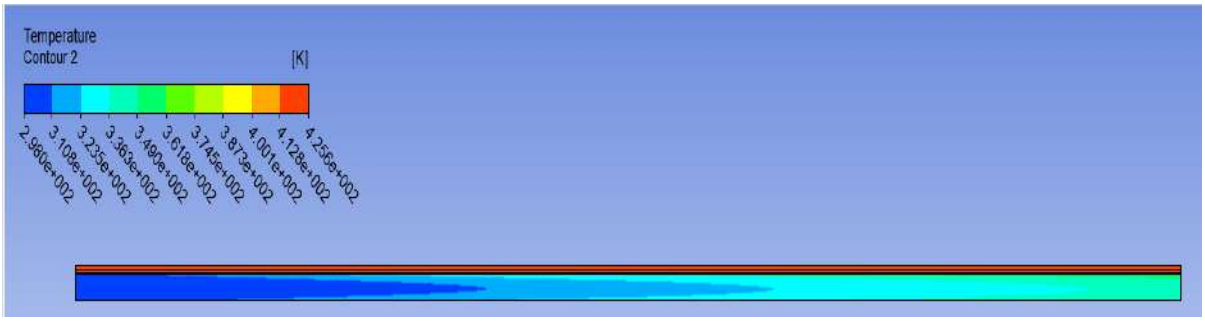


Figure IV-1:L'effet de température sur la géométrie vierge

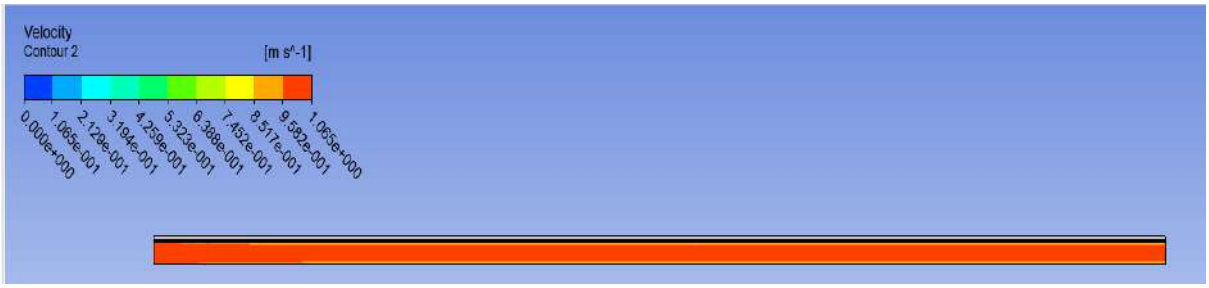


Figure IV-2:L'effet de la vitesse sur la géométrie vierge

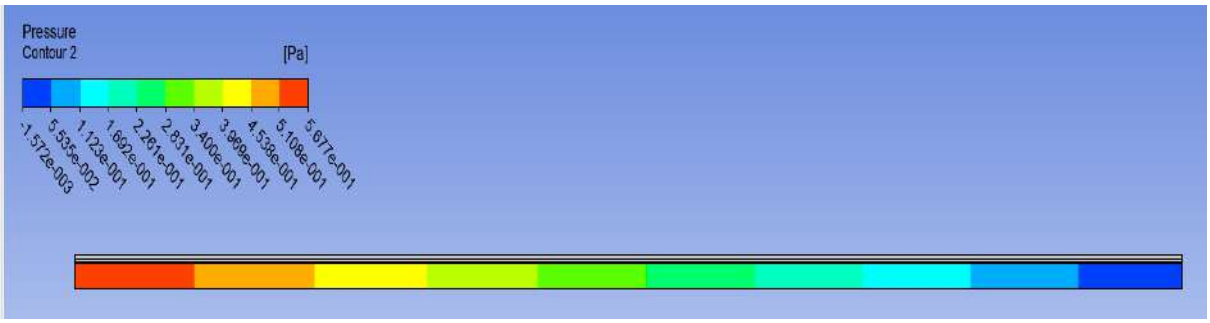


Figure IV-3:L'effet de la pression sur la géométrie vierge

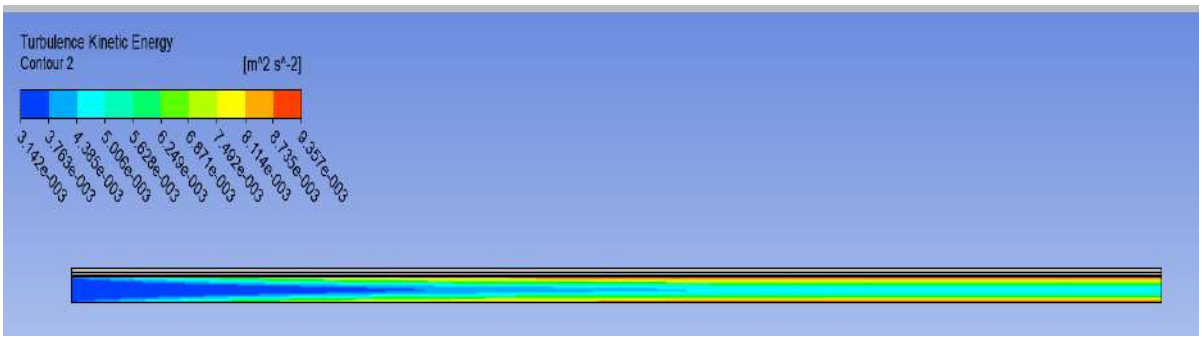


Figure IV-4:L'effet de L'énergie cinétique sur la géométrie vierge

IV.1.1.2 Pour le modèle 02 : (canal qui contient des ailettes rectangulaire)

Les figures suivantes représentent les changements de chacune du pression, température, vitesse et énergie cinétique après l'ajout de 5 ailettes à l'intérieur du canal. Il a été remarqué que la pression était à la valeur la plus élevée (par rapport à son premier état dans le canal en forme de creux) à l'entrée du canal, du fait que le fluide est temporairement confiné entre Le premier obstacle et l'entrée Le fluide passe le premier obstacle et rencontre le deuxième obstacle, donc la pression diminue progressivement jusqu'à atteindre sa valeur minimale après le passage de l'air la dernière ailette, alors qu'on s'aperçoit que la température est à sa valeur minimale à l'entrée du canal, puis sa valeur augmente après que l'air passe la première ailette, et on constate l'accumulation de chaleur au-dessus de l'obstacle puis on le jette vers le prochain obstacle et ainsi de suite jusqu'à ce qu'il atteigne la sortie de sorte qu'il soit à sa valeur la plus élevée, ce qui indique qu'il se déplace plus rapidement et qui indique que le panneau solaire s'est refroidi plus rapidement, et par rapport à la fois la vitesse et l'énergie cinétique sont presque constantes Jusqu'à ce qu'ils rencontrent les obstacles supplémentaires, qui indiquaient l'apparition de perturbations causées par les ailettes rectangulaires qui modifiaient le chemin de l'air circulant dans le canal.

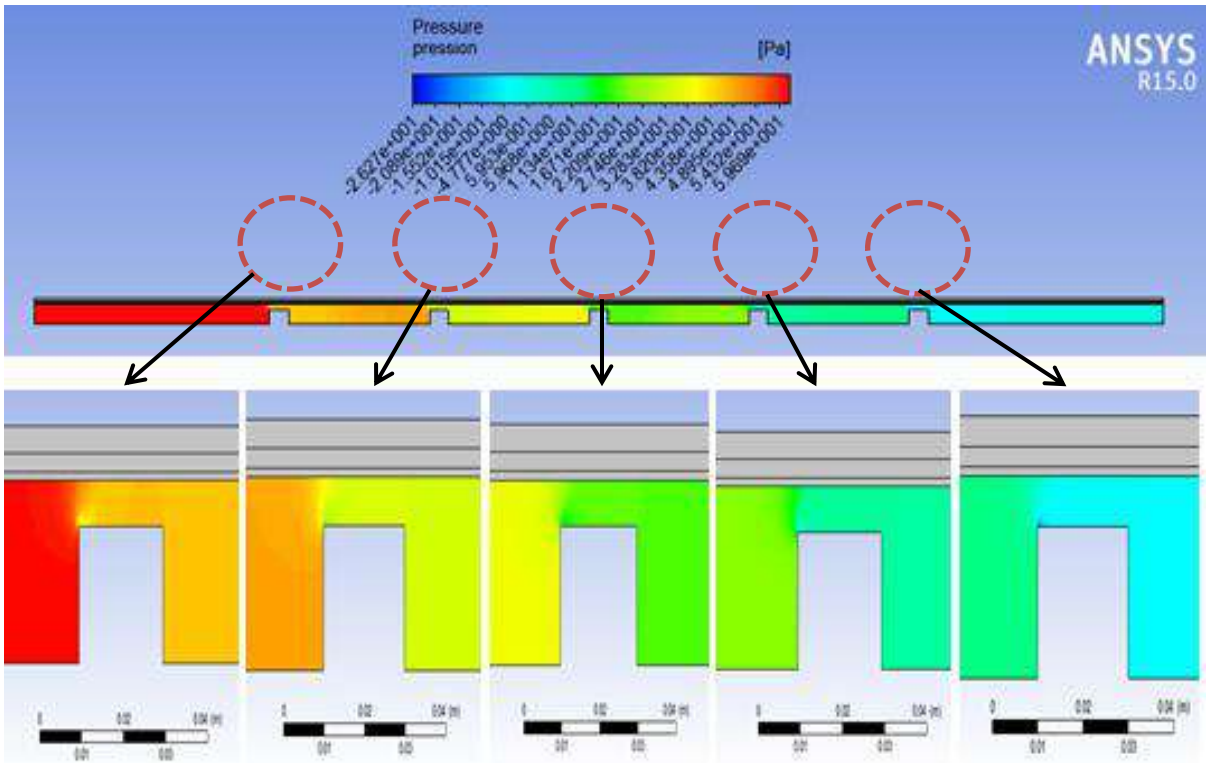


Figure IV-5:L'effet de la pression sur la géométrie carré

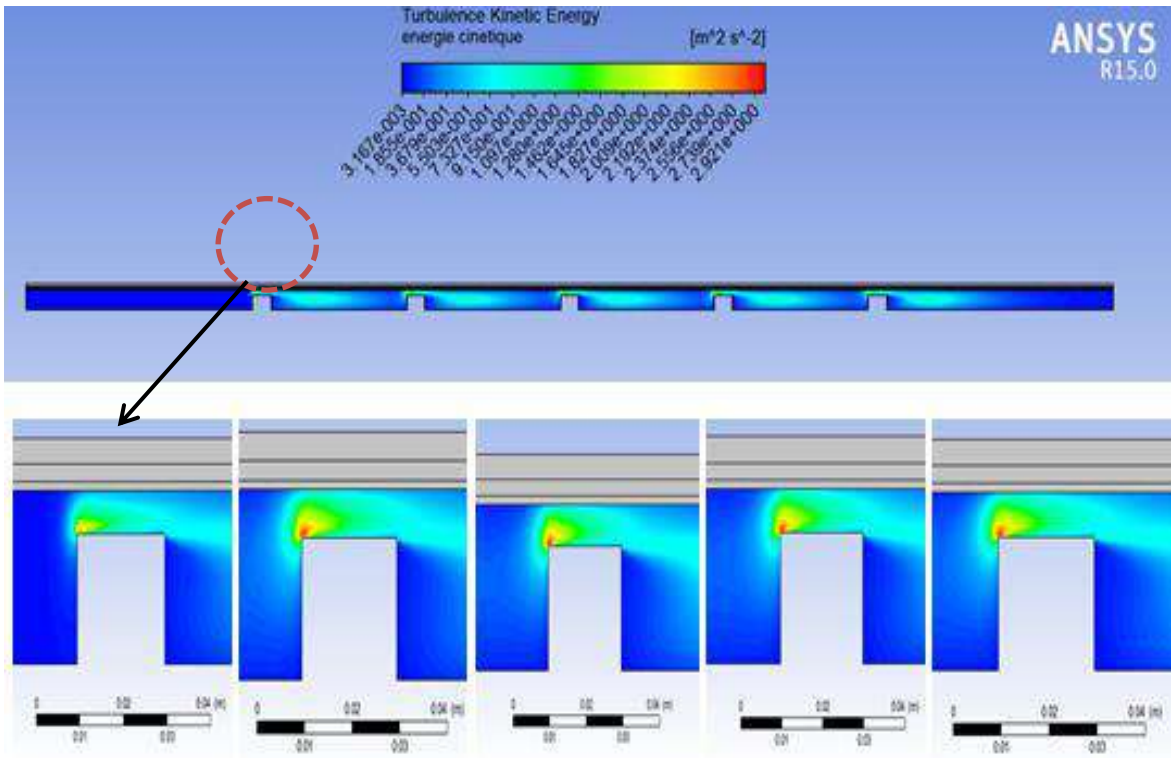


Figure IV-6:L'effet de L'énergie cinétique sur la géométrie carré.

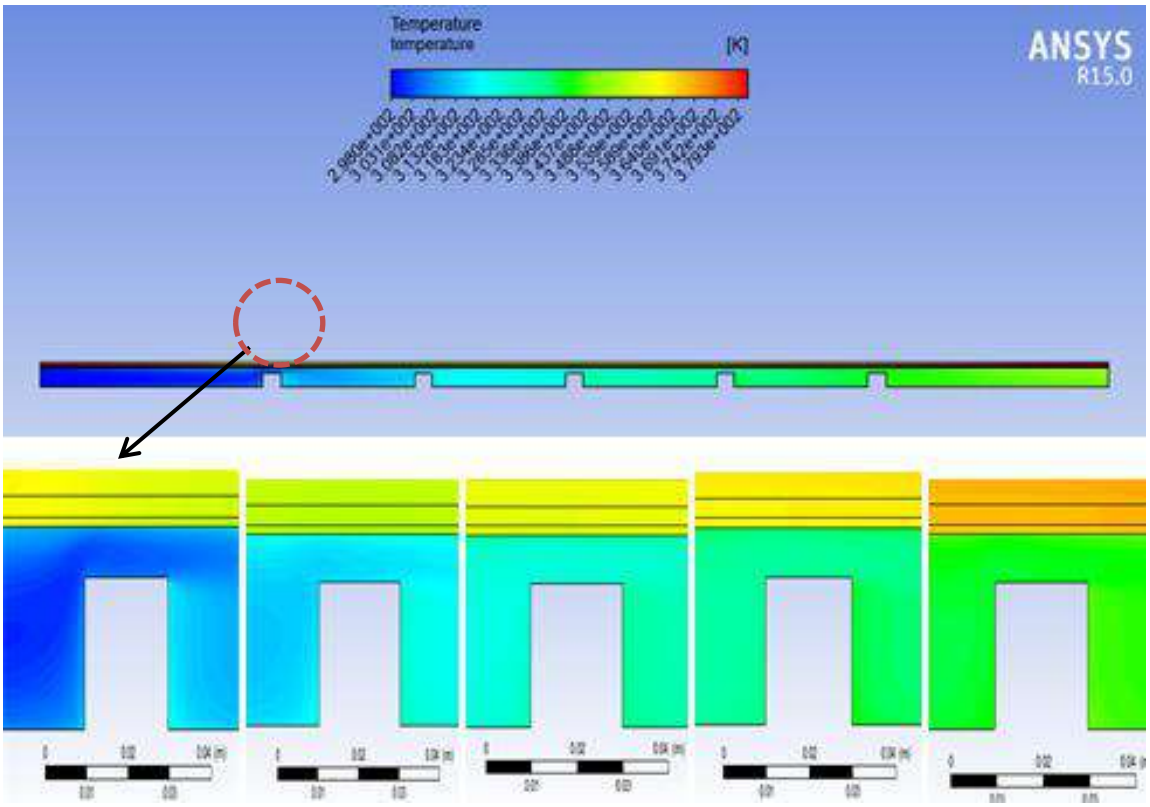


Figure IV-7:L'effet de la température sur la géométrie carré.

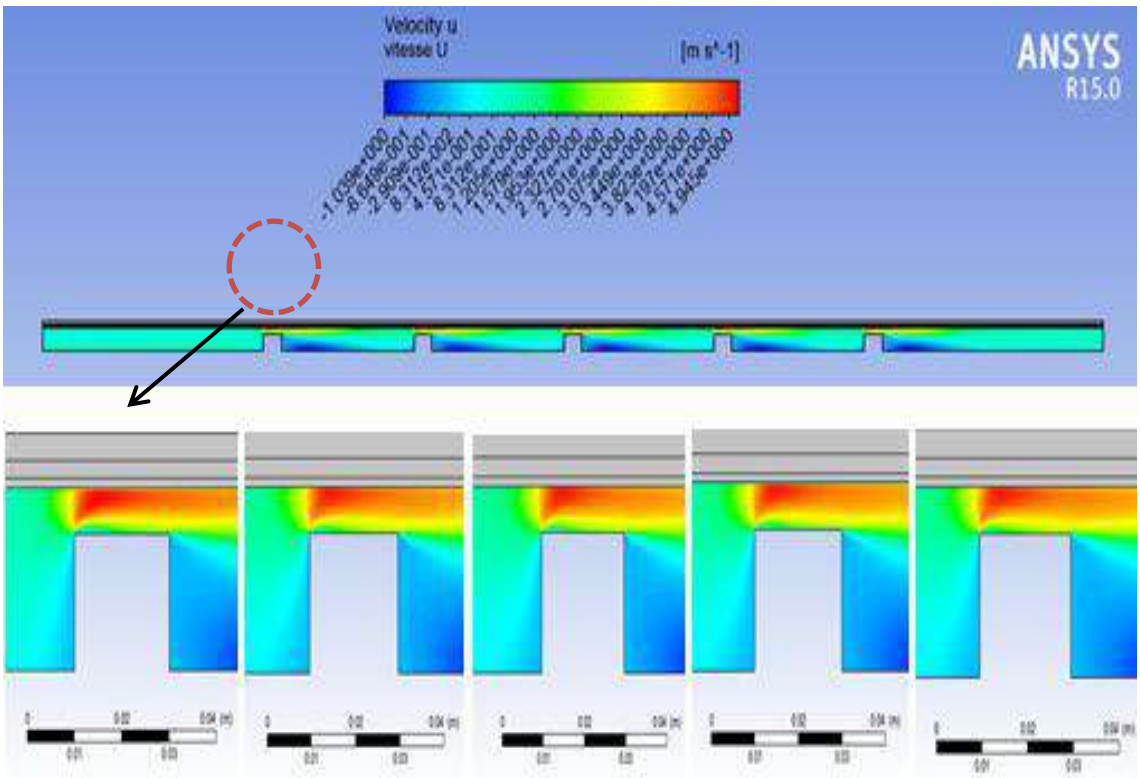


Figure IV-8: L'effet de vitesse U sur la géométrie carré.

IV.1.1.3 Pour le modèle cercle :(canal contient des ailettes semi circulaire)

D'après notre étude des résultats montrés précédemment lors de l'ajout d'ailettes rectangulaires, la différence de perturbations dans le canal nous varie lors du remplacement des ailettes rectangulaires par des ailettes semi-circulaires. Nous remarquons que la pression dans l'entrée est relativement élevée, mais elle est moindre. que ce qu'elle était auparavant dans le cas des ailettes rectangulaires, et sa décroissance varie sur la longueur du canal. Après que le fluide a passé les obstacles, et pour la chaleur, son transfert de l'entrée à la sortie est assez lent, ce qui rend le refroidissement du panneau solaire lent (par rapport à ce qu'était le canal contenant les ailettes rectangulaires)

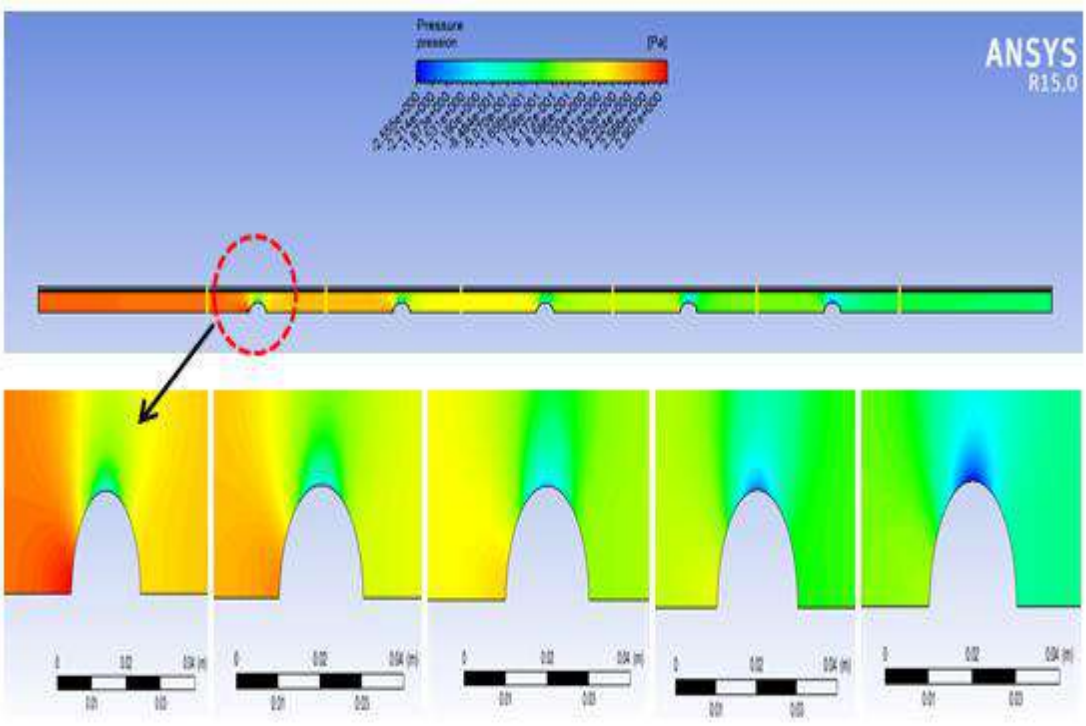


Figure IV-9:L'effet de la pression sur la géométrie cercle.

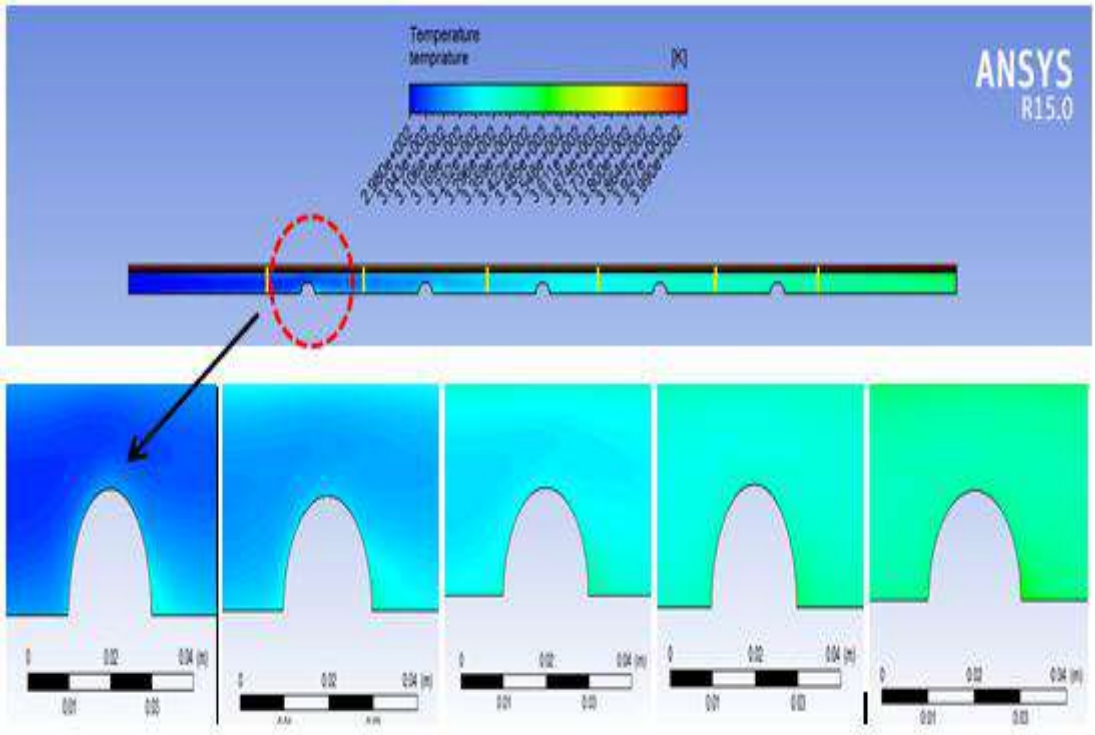


Figure IV-10: L'effet de la température sur la géométrie cercle.

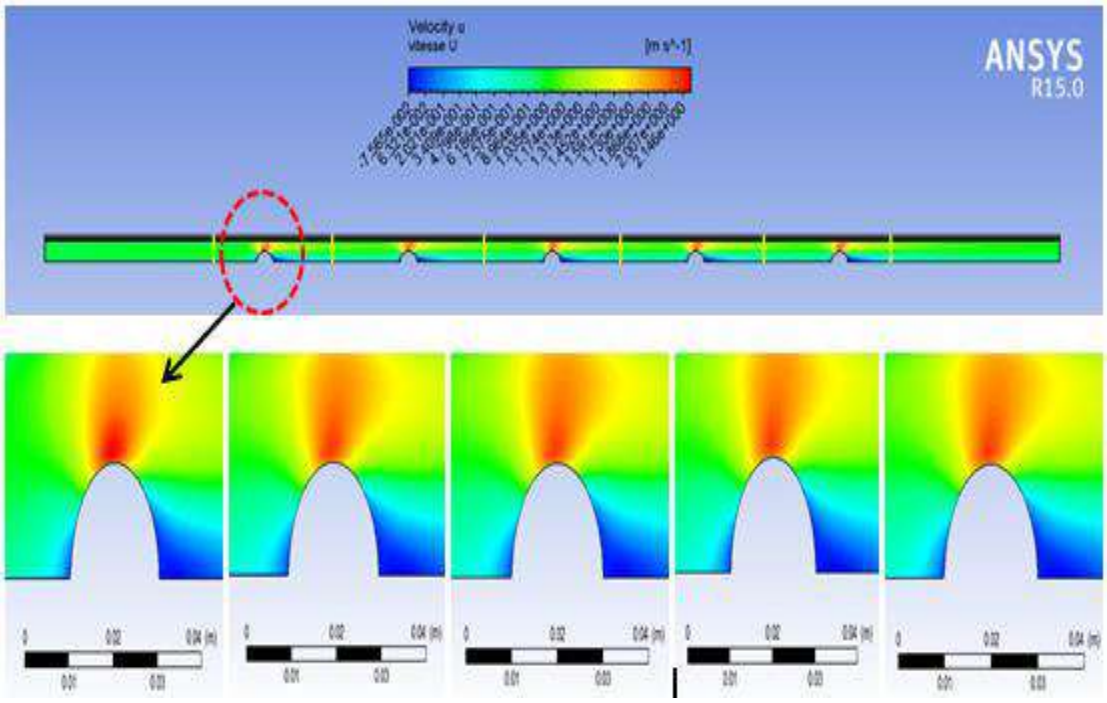


Figure IV-11:L'effet de la vitesse U sur la géométrie cercle

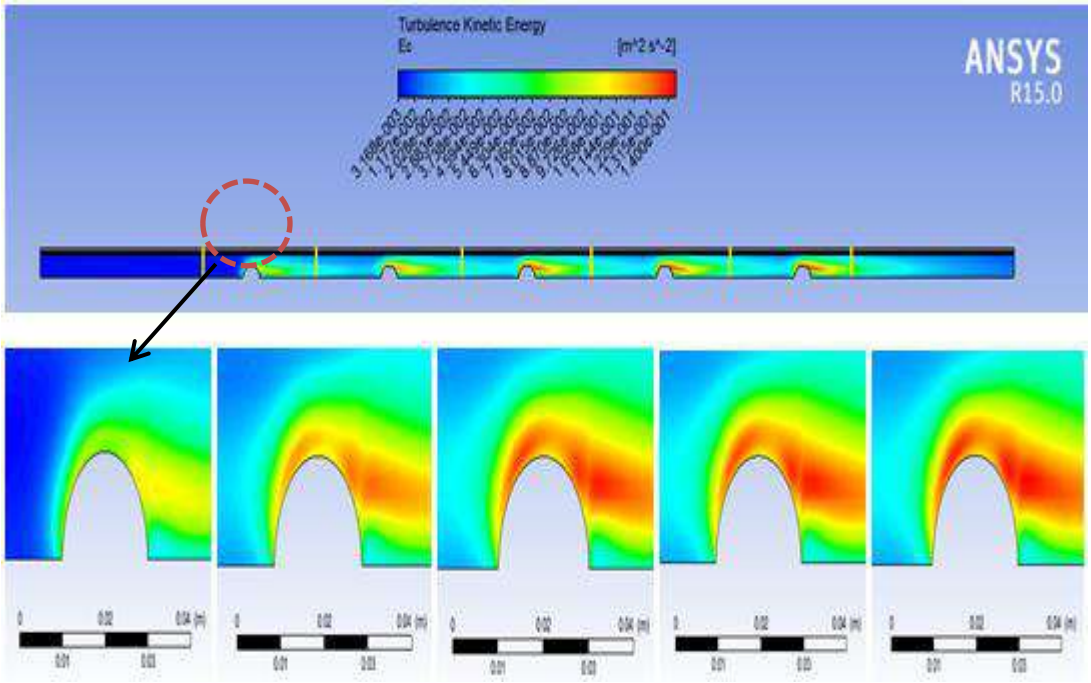


Figure IV-12:L'effet de l'énergie cinétique sur la géométrie cercle.

Nous étudions l'évolution de la pression, de la température, de la vitesse u et de l'énergie cinétique à l'intérieur du canal dans chacun de ses états (le canal est vide, le canal après ajout des ailettes rectangulaires et semi-circulaires), cette étude a été faite en six points le long du canal et ceci est montré dans les courbes suivantes.

IV.1.2 Les graphes de la pression :

Figure IV-13 : représente la variance de la pression du fluide en fonction de la hauteur du canal à x = 0,2 m pour les trois états différents. On note que la valeur de la pression est élevée dans le cas des ailettes carrées, atteignant environ 62 Pa, alors que sa valeur est faible dans les deux cas semi-circulaires (2,5 Pa) et le cas simple environ 0,3 Pa

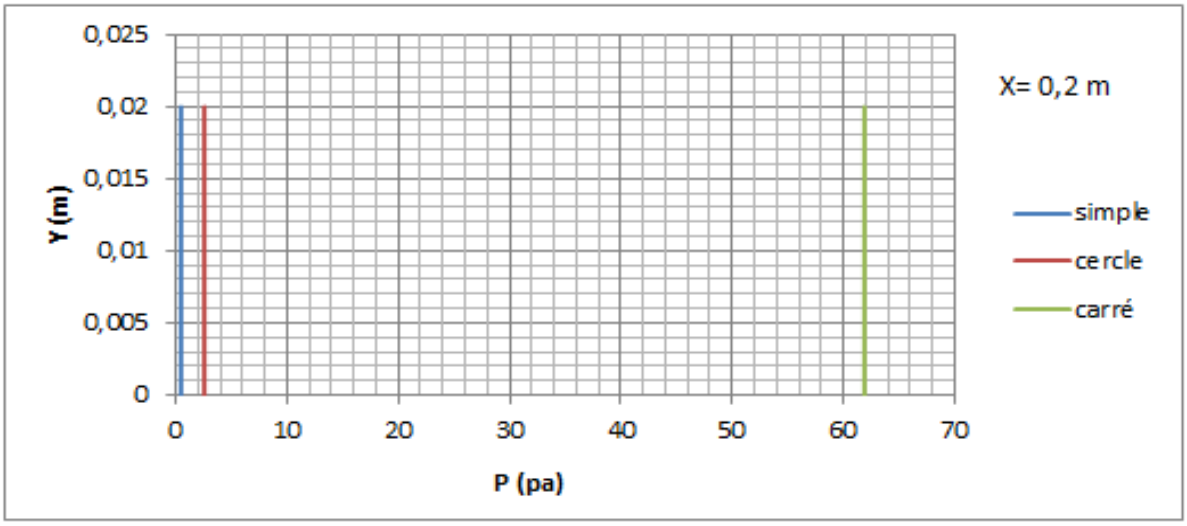


Figure IV-14: résultats de la pression pour X=0.2 m

Figure IV-15: représente la variance de la pression du fluide en fonction de la hauteur du canal à x = 0,34 m pour les trois cas différents. On note que la valeur de la pression est encore élevée dans le cas des ailettes carrées par rapport aux deux autres cas, mais elle a progressivement diminué jusqu'à environ 49 Pa, alors que sa valeur est faible dans le cas semi-circulaire (2,21 Pa) et dans le cas simple il reste un peu constant.

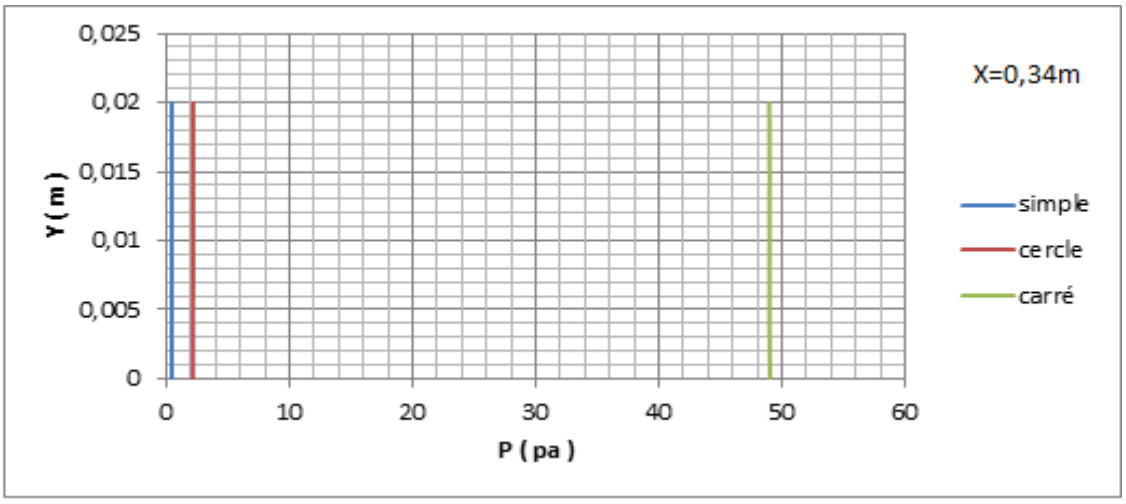


Figure IV-16:résultats de la pression pour X=0.34 m

Figure IV-17: représente la variation de la pression du fluide en fonction de la hauteur du canal à x = 0,52 m pour les trois cas différents. On observe que la valeur de la pression est encore élevée dans le cas des ailettes carrées par rapport aux deux autres cas, mais aussi encore une fois dans ce point elle a progressivement diminué jusqu'à environ 32 Pa, alors que sa valeur est faible dans le cas semi-circulaire (1.8 Pa) et dans le cas simple il a diminué de façon très longue.

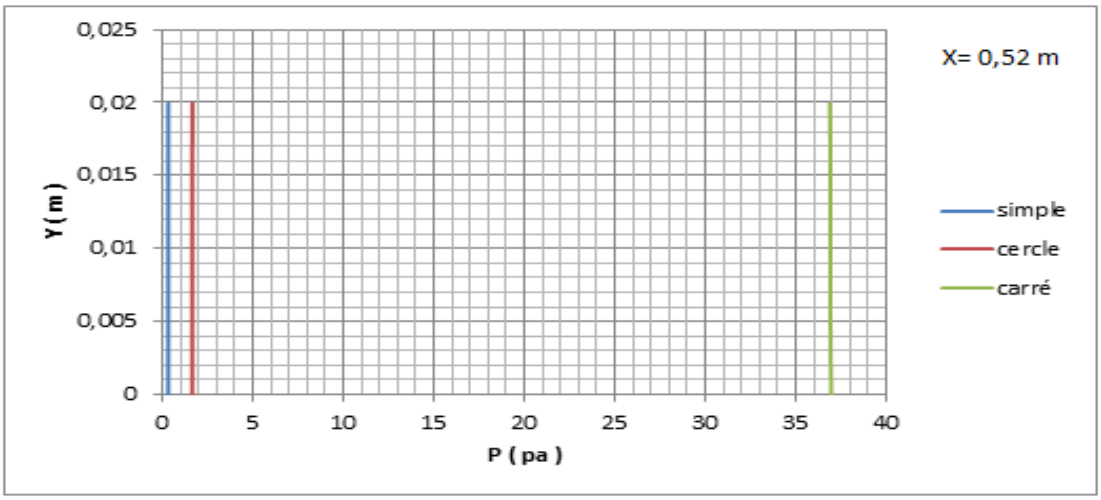


Figure IV-18: résultats de la pression pour X=0.52m

Figure IV-19: représente la variance de la pression du fluide en fonction de la hauteur du canal à x = 0,68 m pour les trois cas différents. On note que la valeur de la pression est encore élevée dans le cas des ailettes carrées par rapport aux deux autres cas, mais elle a progressivement diminué jusqu'à environ 24 Pa, et dans le cas semi-circulaire aussi diminué jusqu'à (1 Pa) et dans le cas simple il a diminué presque jusqu'à 0.1 pa

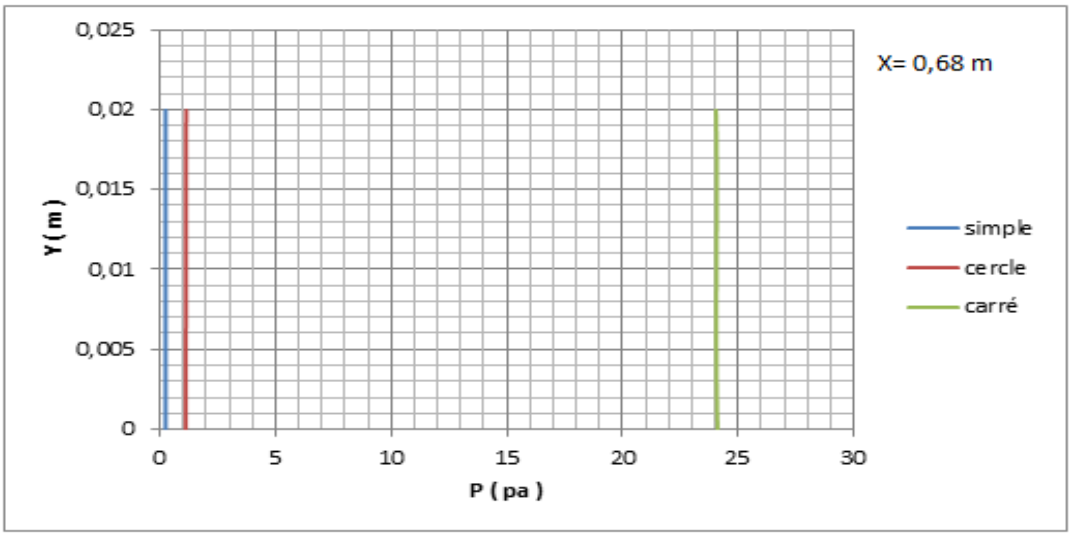


Figure IV-20:résultats de la pression pour X=0.68 m

Figure IV-21: représente la variance de la pression du fluide en fonction de la hauteur du canal à x = 0,85 m pour les trois cas différents. On note que la valeur de la pression est encore élevée dans le cas des ailettes carrées par rapport aux deux autres cas, mais elle a progressivement diminué jusqu'à environ 24 Pa, et dans le cas semi-circulaire aussi diminué jusqu'à (1 Pa) et dans le cas cas simple il a diminué presque jusqu'à 0.1 pa

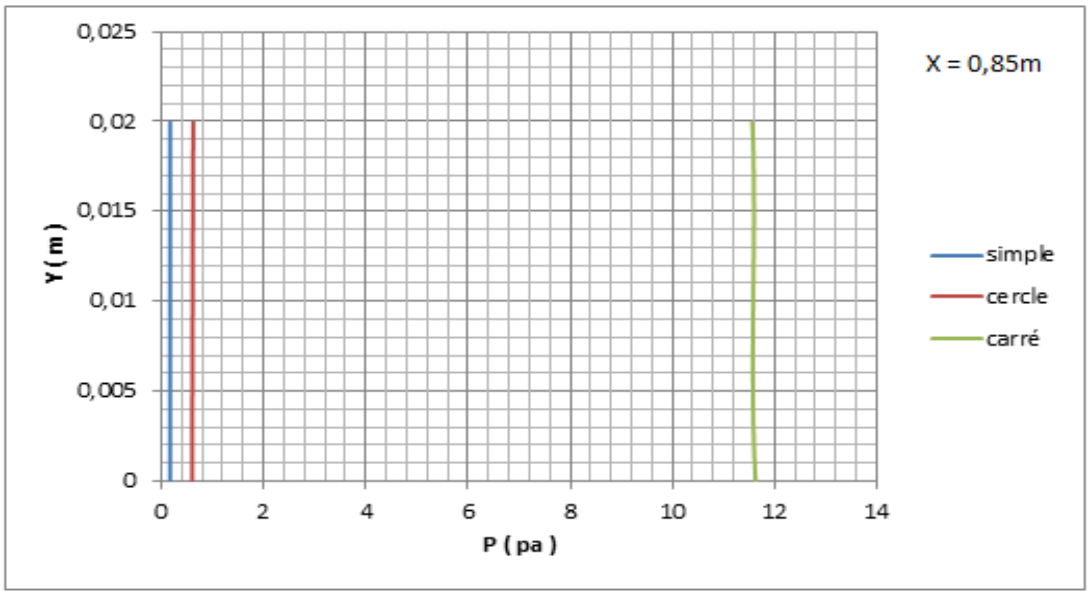


Figure IV-22:Résultats de la pression pour X=0.85m

Figure IV-23: montre la variance de la pression du fluide en fonction de la hauteur du canal à x = 1 m pour les trois cas différents. On remarque que la valeur de la pression dans le cas des ailettes carrées diminué chuté jusqu'à une valeur négative de -2 Pa par rapport aux deux autres cas. On voit que la valeur de la pression dans le cas semi-circulaire est de 0,05 Pa et pour le cas simple elle est de 0,1 Pa

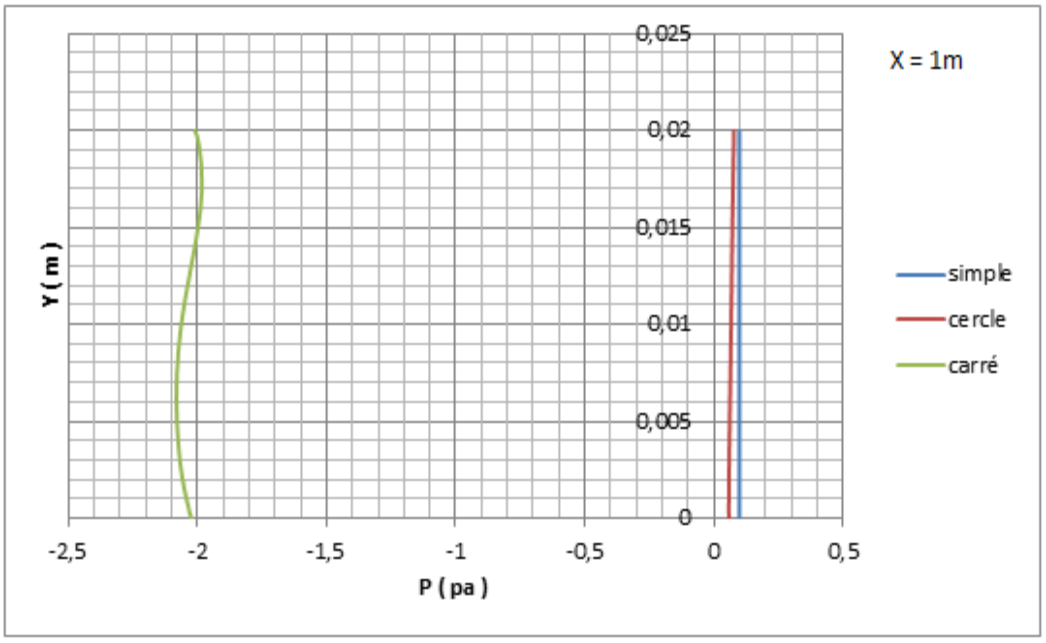


Figure IV-24:Résultats de la pression pour X= 1m

IV.1.3 Les graphes de la température :

Figure IV-25: représente l'évolution de la température a x=0.2 m pour les trois différents formes (simple , cercle , carré) on observe que pour y varier entre (0 et 0.02 m) il y a une déformation sur le profile grâce a l'obstacle et une valeur constante pour y sup ou égale 0.02 m Ainsi , on remarque que pour l'absence d'obstacle (simple) la température augmente par rapport les deux autres cas c'est a dire la présence d'obstacle donne une bonne refroidissement.

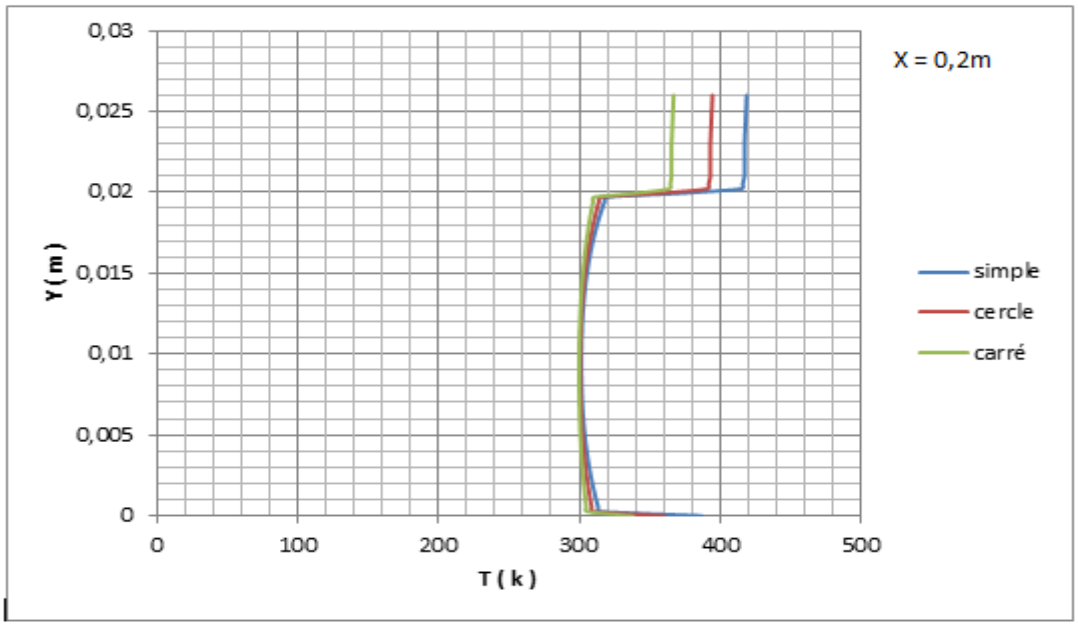


Figure IV-26:Résultats de la Température pour X=0.2m

Figure IV-27:représente l'évolution de la température a x=0.34 m pour les trois différents formes (simple , cercle , carré) on observe que pour y varier entre (0 et 0.02 m) il y a une déformation sur le profile grâce a l'obstacle et la température constante dans l'intervalle [300 k – 320k]et une valeur constante pour y sup ou égale 0.02 m ,Ainsi on remarque que pour l'absence d'obstacle (simple) la température augmente par rapport les deux autres cas c'est a dire la présence d'obstacle donne une bonne refroidissement.

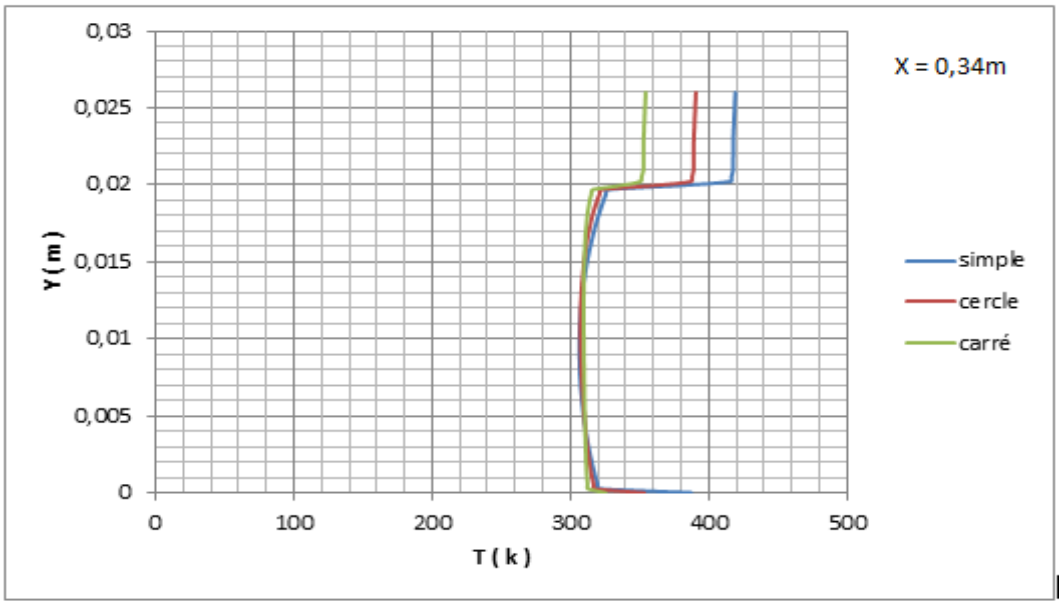


Figure IV-28:Résultats de la Température pour X=0.34m

Figure IV-29: représente l'évolution de la température a x=0.52 m pour les trois différents formes (simple , cercle , carré) on observe que pour y varier entre (0 et 0.02 m) il y a une déformation sur le profile grâce a l'obstacle et la température constante dans l'intervalle [310 k – 340k]et une valeur constante pour y sup ou égale 0.02 m ,Ainsi on remarque que pour l'absence d'obstacle (simple) la température augmente par rapport les deux autres cas c'est a dire la présence d'obstacle donne une bonne refroidissement

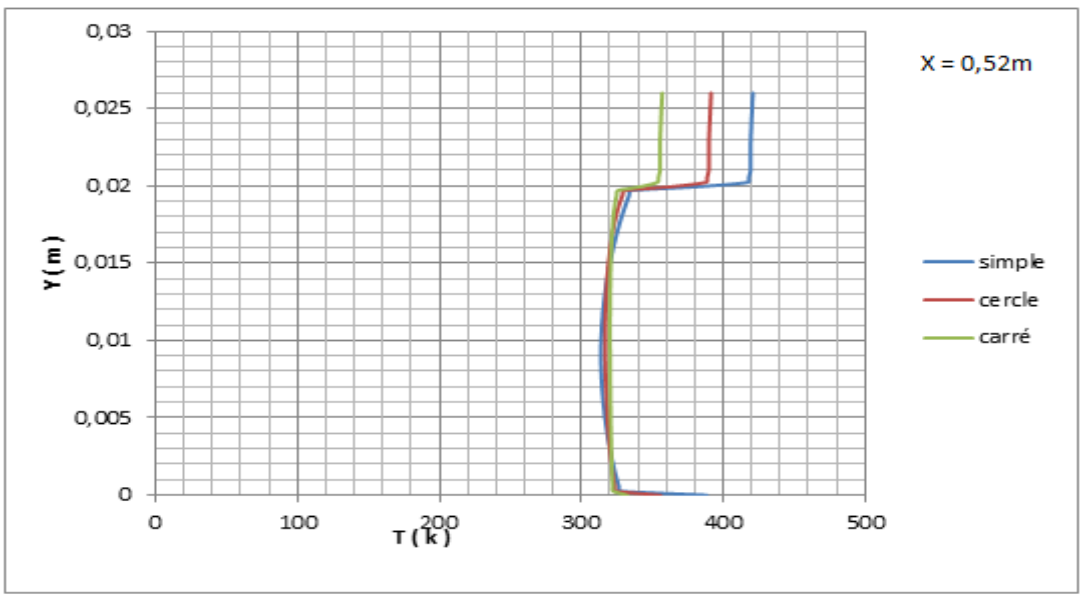


Figure IV-30:Résultats de la Température pour X=0.52m

Figure IV-31:représente l'évolution de la température a x=0.68 m pour les trois différents formes (simple , cercle , carré) on observe que pour y varier entre (0 et 0.02 m) il y a une déformation sur le profile grâce a l'obstacle et la température La température est dans un état constant changeant sur l'intervalle [320 k – 340k]et une valeur constante pour y sup ou égale 0.02 m ,Ainsi on remarque que pour l'absence d'obstacle (simple) la température augmente par rapport les deux autres cas c'est a dire la présence d'obstacle donne une bonne refroidissement

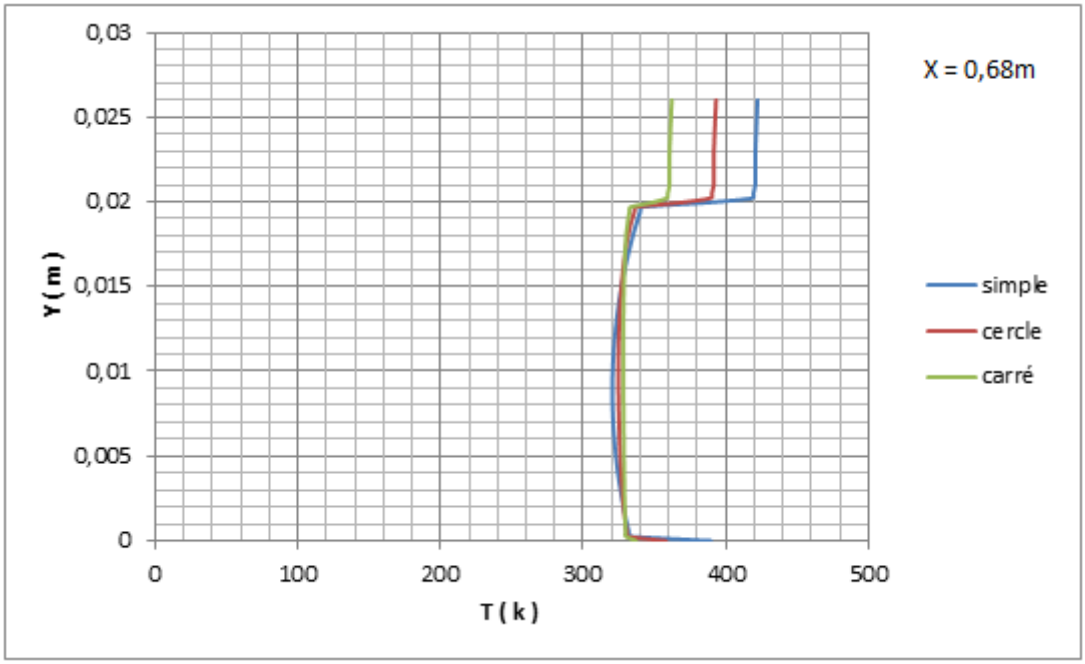


Figure IV-32:Résultats de la Température pour X=0.68m

Figure IV-33: représente l'évolution de la température a x=0.85 m pour les trois différents formes (simple , cercle , carré) on observe que pour y varier entre (0 et 0.02 m) il y a une déformation sur le profile grâce à l'obstacle et la température La température est dans un état constant changeant sur l'intervalle [320 k – 343k]et une valeur constante pour y sup ou égale 0.02 m ,Ainsi on remarque que pour l'absence d'obstacle (simple) la température augmente par rapport les deux autres cas c'est à dire la présence d'obstacle donne une bonne refroidissement

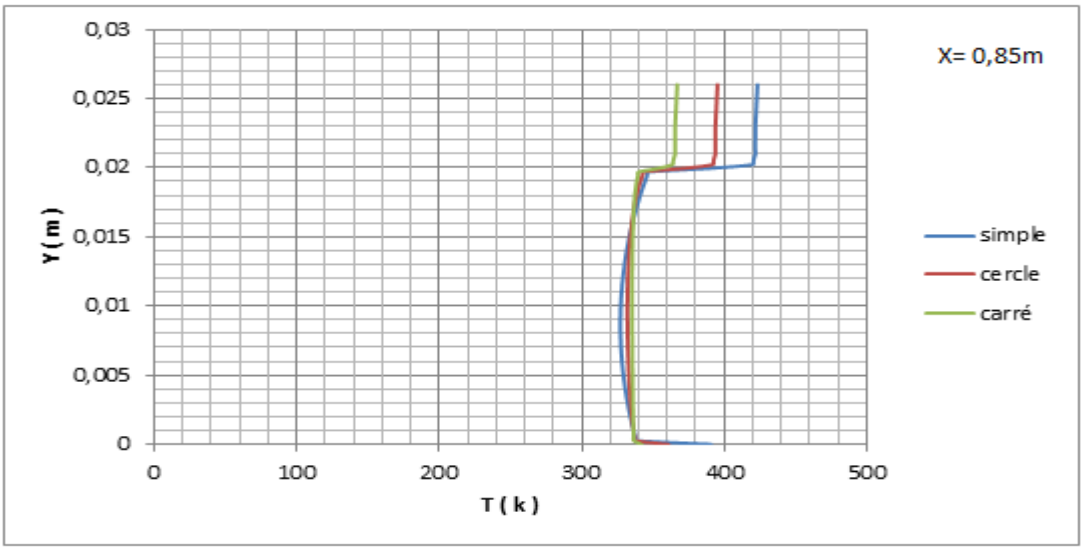


Figure IV-34:Résultats de la température pour X = 0.85m

Figure IV-35: représente l'évolution de la température a x= 1m pour les trois différents formes (simple , cercle , carré) on observe que pour y varier entre (0 et 0.02 m) il y a une déformation sur le profile grâce à l'obstacle et la température La température est dans un état constant changeant sur l'intervalle [330 k – 360k]et une valeur constante pour y sup ou égale 0.02 m ,Ainsi on remarque que pour l'absence d'obstacle (simple) la température augmente par rapport les deux autres cas c'est à dire la présence d'obstacle donne une bonne refroidissement

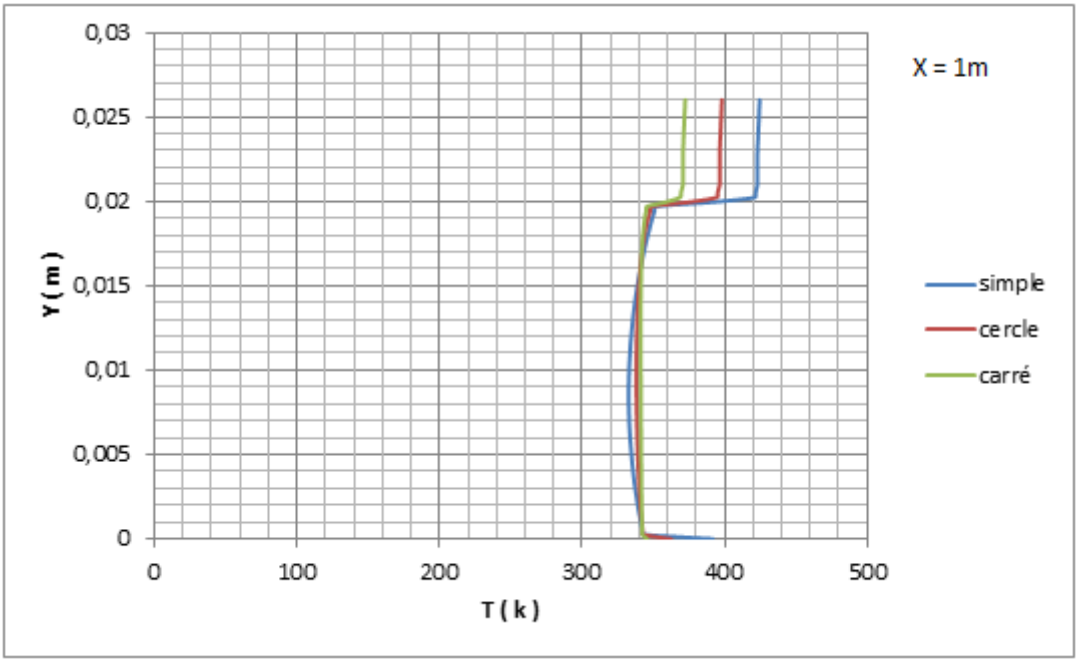


Figure IV-36:Résultats de la Température pour X = 1m

IV.1.4 Les graphes pour la Vitesse U :

Figure IV-37: représente l'évolution de la vitesse pour les différentes formes (carré, semi-circulaire, simple) On remarque que lorsque la valeur de y est entre [0-0.001] il y a une certaine stabilité de la vitesse U puis si la valeur de Y est entre [0.001-0.01] nous remarquons une augmentation de la vitesse U à plus de (1m.s-1) puis elle commence à diminuer lorsque la valeur de Y devient entre [0.01-0.02] et ceci sous les trois formes différentes étudié

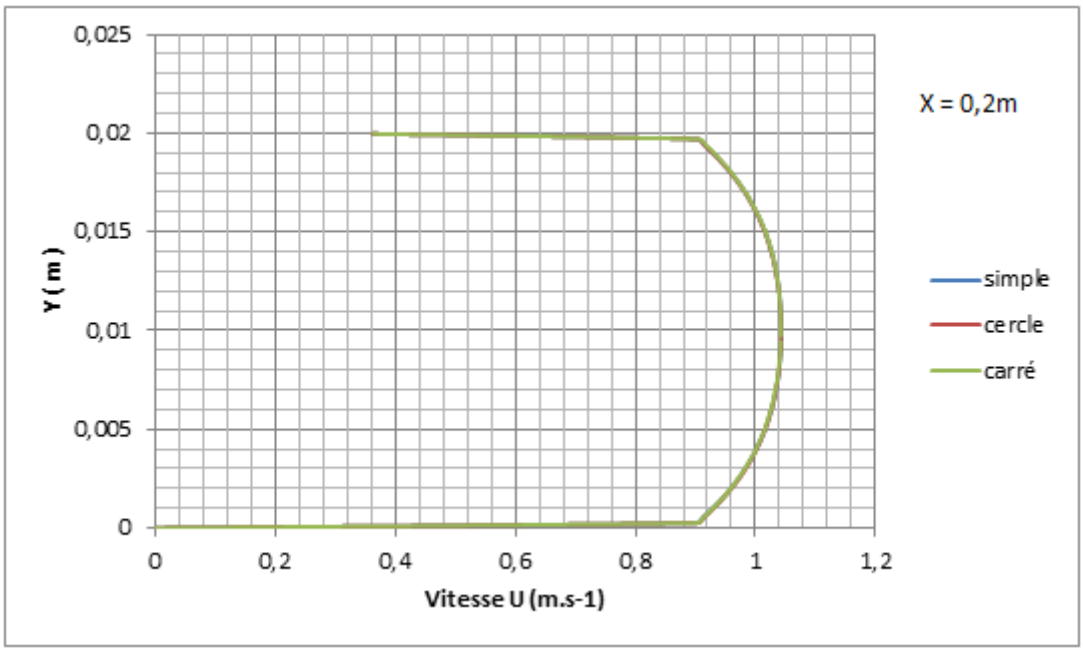


Figure IV-38: Résultats de la vitesse U pour X =0.2m

Figure IV-39: représente l'évolution de la vitesse U a x= 0.34m pour les trois différents formes (simple , cercle , carré) on observe que pour y varier entre (0 et 0.05m) la courbe de la forme carré prendre des valeurs négatives se qui montre que la forme carré elle a freiné l'écoulement de fluide par contre les deux autre forme la vitesse progressivement augmenté grâce Ainsi on remarque que pour l'absence d'obstacle (simple) la vitesse est augmenté de façon incrémentielle à peu près constante et on note que pour y (0.01-0.02) il Ya une déformation sur le profile.

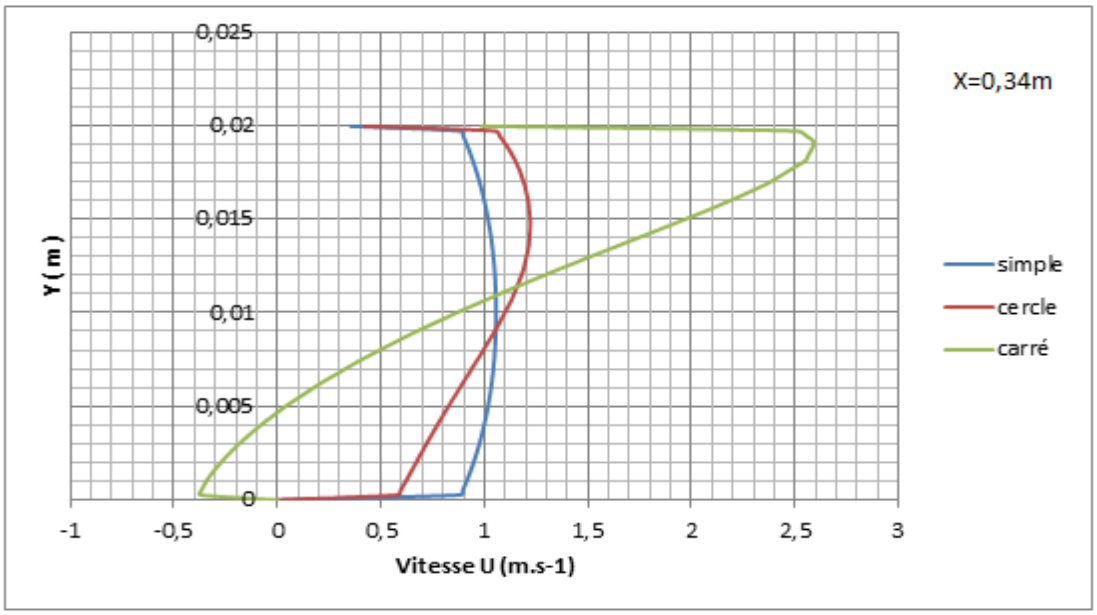


Figure IV-40:Résultats de la vitesse U pour x = 0.34m

Figure IV-41: représente l'évolution de la vitesse U a x= 0.52m pour les trois différents formes (simple , cercle , carré) on observe que pour y varier entre (0 et 0.05m) la courbe de la forme carré prendre des valeurs négatives se qui montre que la forme carré elle a freiné l'écoulement de fluide par contre les deux autre forme la vitesse progressivement augmenté grâce Ainsi on remarque que pour l'absence d'obstacle (simple) la vitesse est augmenté de façon incrémentielle à peu près constante et on note que pour y (0.01-0.02) il Ya une déformation sur le profile.

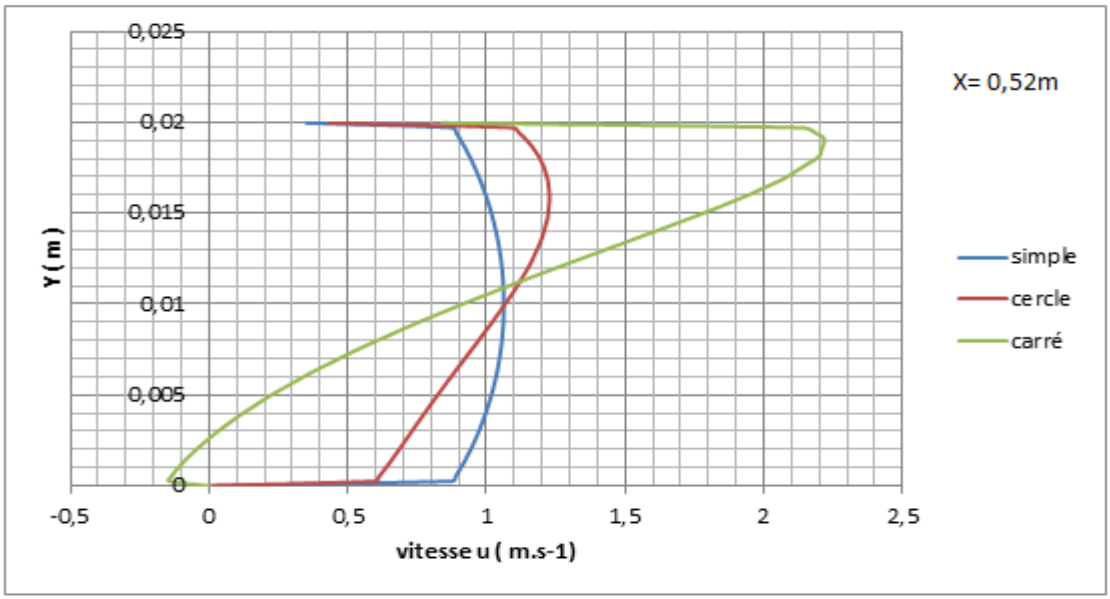


Figure IV-42:Résultats de la vitesse U pour X = 0.52m

Figure IV-43: représente l'évolution de la vitesse U a x= 0.68 m pour les trois différents formes (simple , cercle , carré) on observe que pour y varier entre (0 et 0.05m) la courbe de la forme carré prendre des valeurs négatives ce qui montre que la forme carré elle a freiné l'écoulement de fluide par contre les deux autre forme la vitesse progressivement augmenté grâce Ainsi on remarque que pour l'absence d'obstacle (simple) la vitesse est augmenté de façon incrémentielle à peu près constante et on note que pour y (0.01-0.02) il Ya une déformation sur le profile.

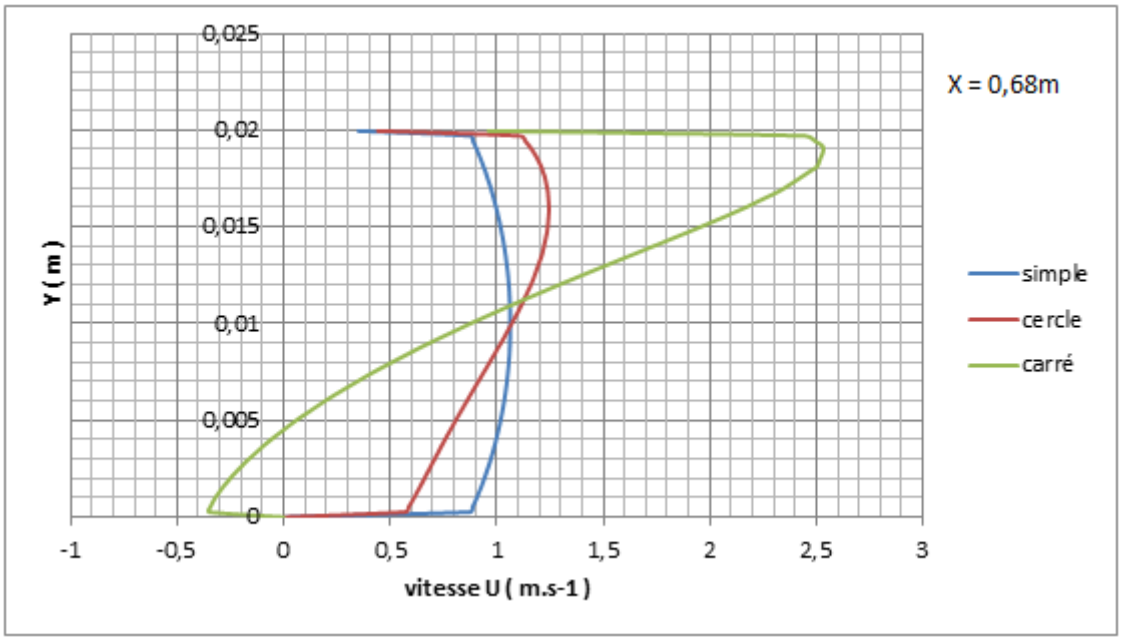


Figure IV-44:Résultats de la vitesse U pour X=0.68m

Figure IV-45:l'évolution de la vitesse U a x= 0.85 m pour les trois différents formes (simple , cercle , carré) on observe que pour y varier entre (0 et 0.05m) la courbe de la forme carré prendre des valeurs négatives ce qui montre que la forme carré elle a freiné l'écoulement de fluide par contre les deux autre forme la vitesse progressivement augmenté grâce Ainsi on remarque que pour l'absence d'obstacle (simple) la vitesse est augmenté de façon incrémentielle à peu près constante et on note que pour y (0.01-0.02) il Ya une déformation sur le profile.

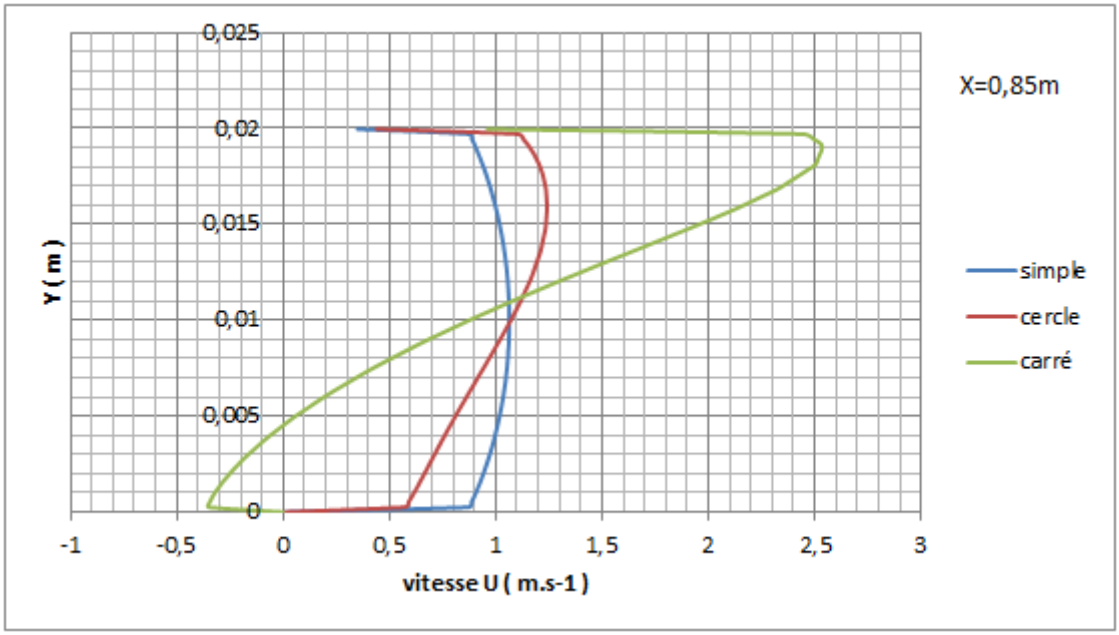


Figure IV-46:Résultats de la vitesse U pour X=0.85m

Figure IV-47: l'évolution de la vitesse U a x= 1 m pour les trois différents formes (simple , cercle , carré) on observe que pour y varier entre (0 et 0.05m) la courbe de la forme carré prendre des valeurs négatives ce qui montre que la forme carré elle a freiné l'écoulement de fluide par contre les deux autre forme la vitesse progressivement augmenté grâce Ainsi on remarque que pour l'absence d'obstacle (simple) la vitesse est augmenté de façon incrémentielle à peu près constante et on note que pour y (0.01-0.02) il Ya une déformation sur le profile.

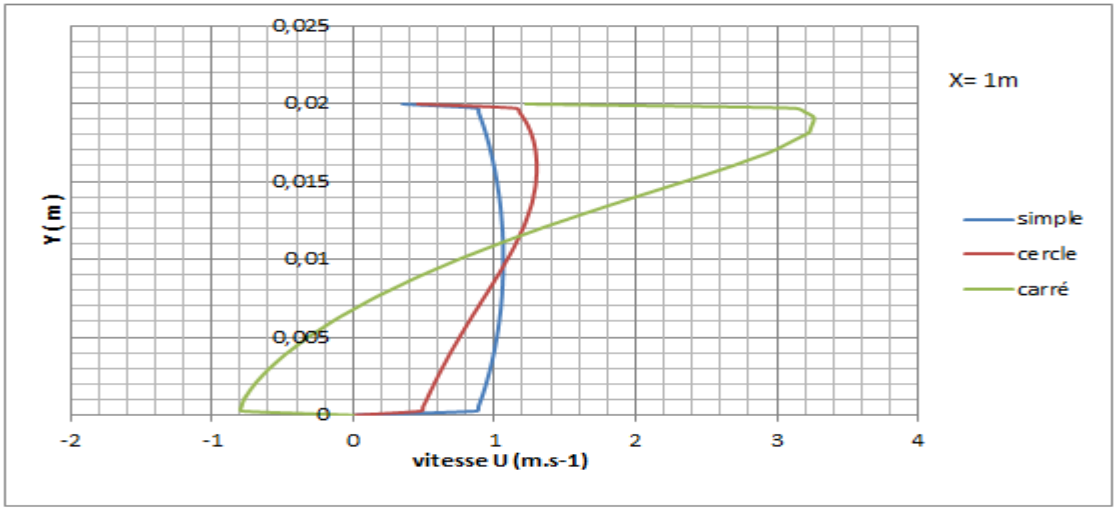


Figure IV-48:Résultats de la vitesse U pour X= 1m

IV.1.5 Les graphes pour l'énergie cinétique :

Figure IV-49: représenté l'évolution de l'énergie cinétique a x = 0.2 m. on note que si la valeur de y entre (0 m - 0.01) nous remarqueront diminution de l'énergie cinétique pour les 3 formes étudier puis si y est entre (0.01 - 0.02) on observe un augmentation de l'énergie cinétique aussi pour les 3 formes.

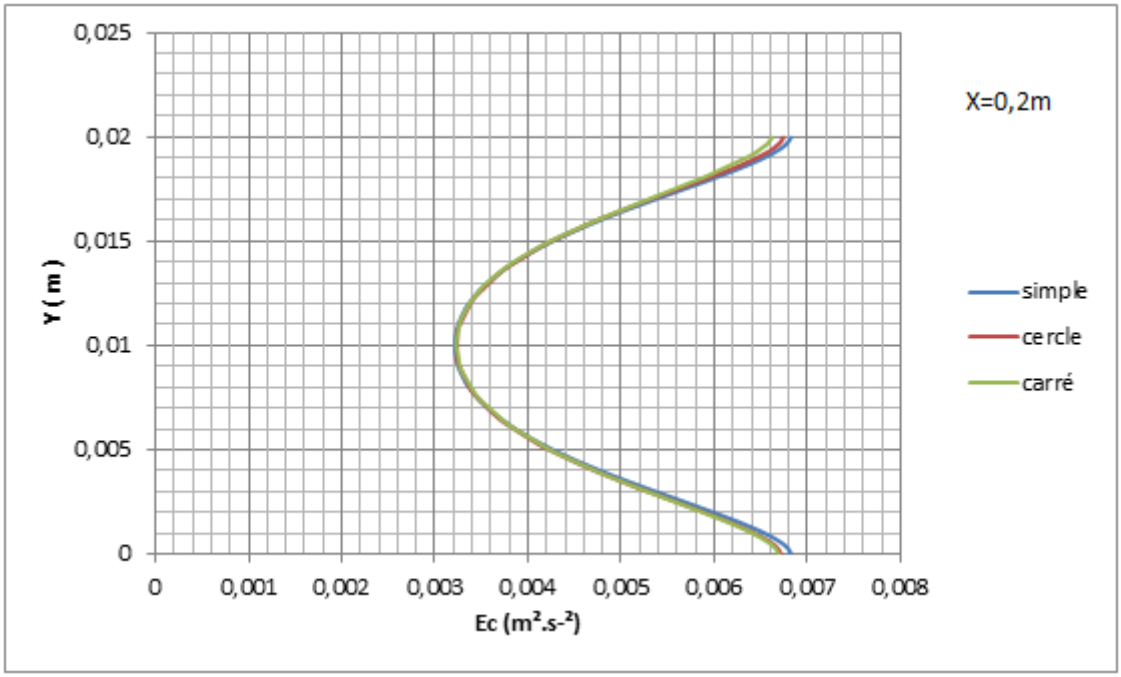


Figure IV-50:Résultats de l'énergie cinétique pour X= 0.2

Figure IV-51: représenté l'évolution de l'énergie cinétique a x = 0.34 m. on note que si la valeur de y entre (0 m - 0.01) nous remarqueront augmentation de l'énergie cinétique pour la forme carré puis une démunissions quand y est supérieur a 0.01 ce qui montre les perturbation crée par l'obstacle carré par contre nous observons une augmentation très faible pour la forme semi circulaire et de l'énergie et pour la forme simple l'énergie cinétique presque constante.

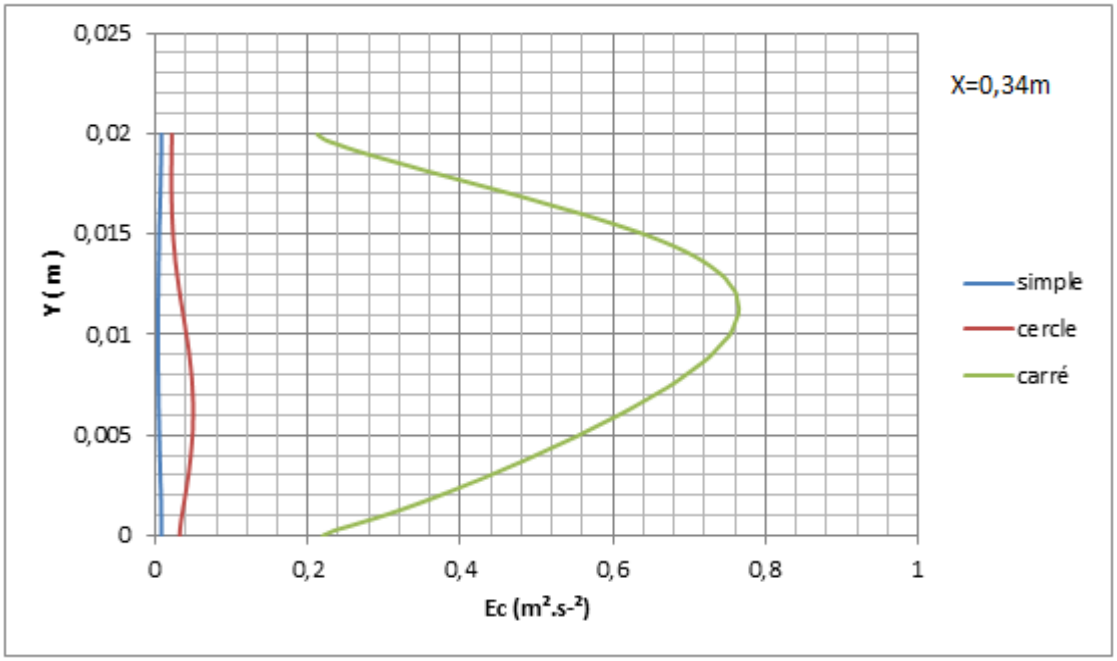


Figure IV-52:Résultats de l'énergie cinétique pour X= 0.34m

Figure IV-53: représenté l'évolution de l'énergie cinétique a x = 0.52 m. on note que si la valeur de y entre (0 m - 0.01) nous remarqueront augmentation de l'énergie cinétique pour la forme carré puis une démunissions quand y est supérieur à 0.01 ce qui montre la perturbation crée par l'obstacle carré par contre nous observons une augmentation très faible pour la forme semi circulaire et de l'énergie et pour la forme simple l'énergie cinétique presque constante.

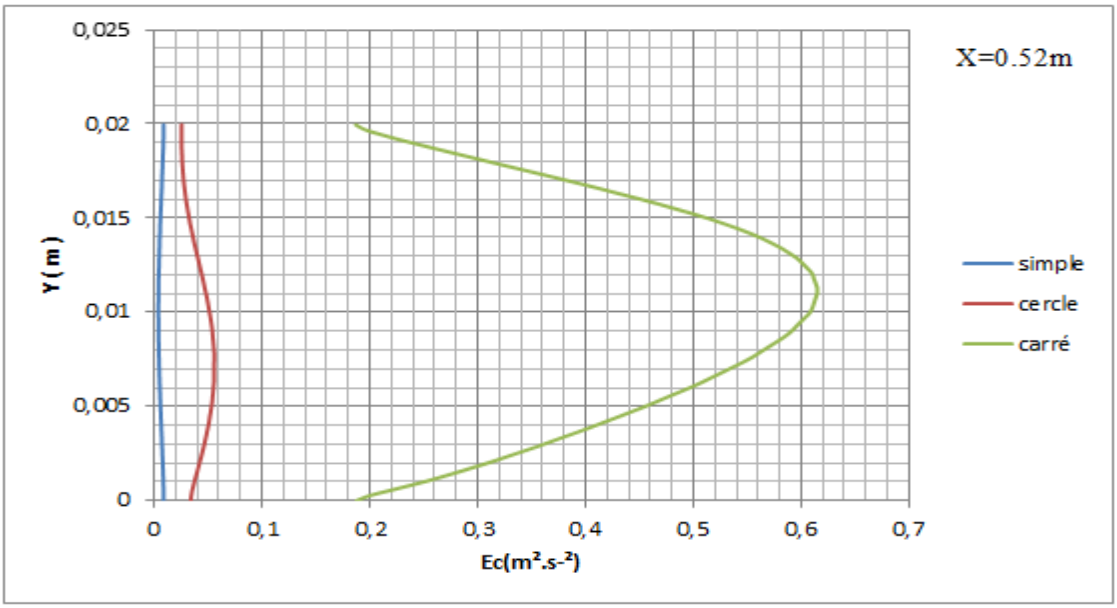


Figure IV-54:Résultats de l'énergie cinétique pour X= 0.52m

Figure IV-55: représenté l'évolution de l'énergie cinétique a x = 0.68 m. on note que si la valeur de y entre (0 m - 0.01) nous remarqueront augmentation de l'énergie cinétique pour la forme carré puis une démunissions quand y est supérieur à 0.01 ce qui montre les perturbation crée par l'obstacle carré par contre nous observons une augmentation très faible pour la forme semi circulaire et de l'énergie et pour la forme simple l'énergie cinétique presque constante.

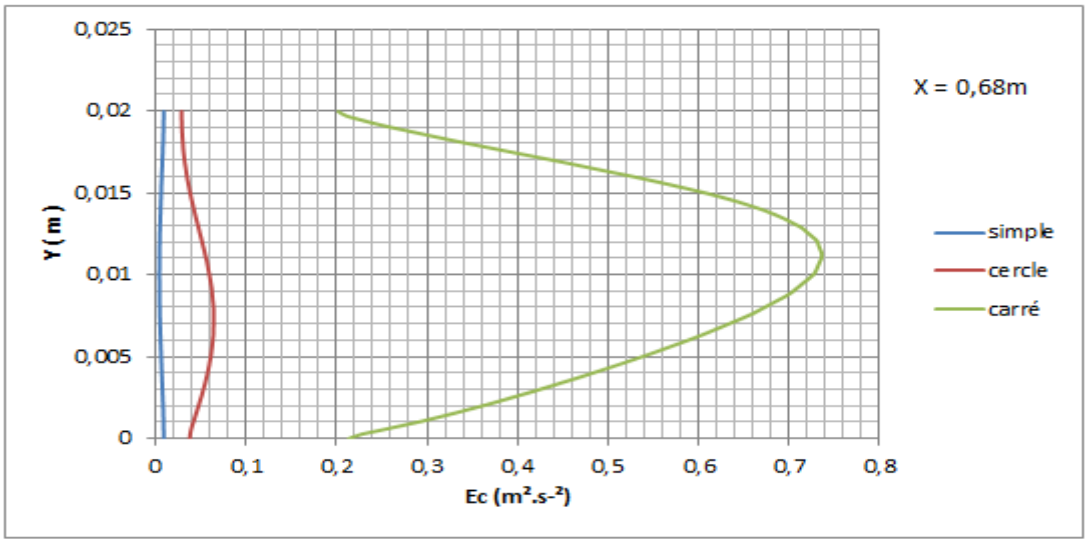


Figure IV-56:Résultats de l'énergie cinétique pour X= 0.68m

Figure IV-57: représenté l'évolution de l'énergie cinétique a x = 0.85 m. on note que si la valeur de y entre (0 m - 0.01) nous remarqueront augmentation de l'énergie cinétique pour la forme carré puis une démunissions quand y est supérieur à 0.01 ce qui montre la perturbation crée par l'obstacle carré par contre nous observons une augmentation très faible pour la forme semi circulaire et de l'énergie et pour la forme simple l'énergie cinétique presque constante.

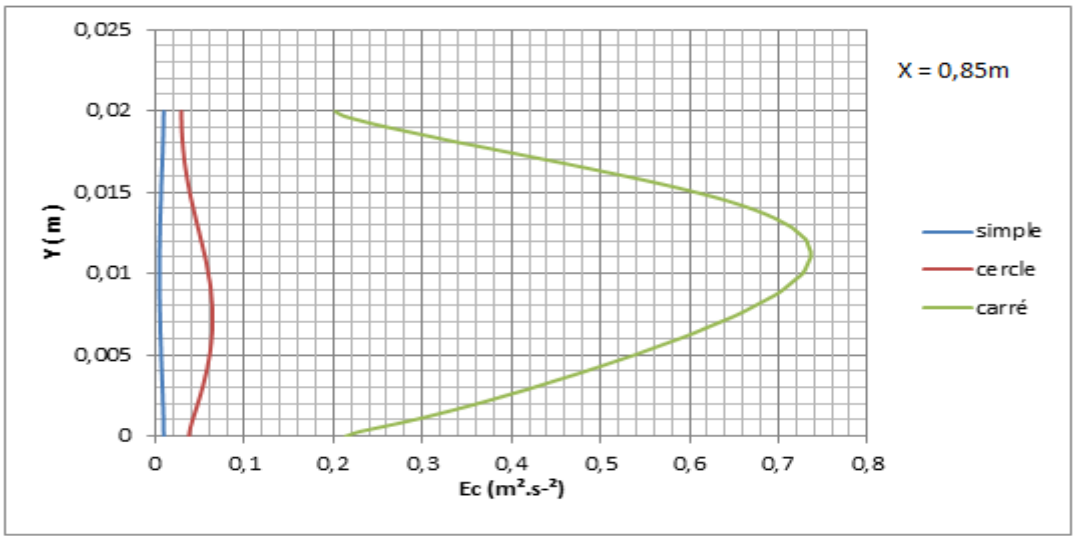


Figure IV-58:Résultats de l'énergie cinétique pour X= 0.85m

Figure IV-59 : représentée l'évolution de l'énergie cinétique a x = 1m. On note que si la valeur de y entre (0 m - 0.01) nous remarqueront augmentation de l'énergie cinétique pour la forme carré puis une démunissions quand y est supérieur à 0.01 ce qui montre la perturbation crée par l'obstacle carré par contre nous observons une augmentation très faible pour la forme semi circulaire et de l'énergie et pour la forme simple l'énergie cinétique presque constante.

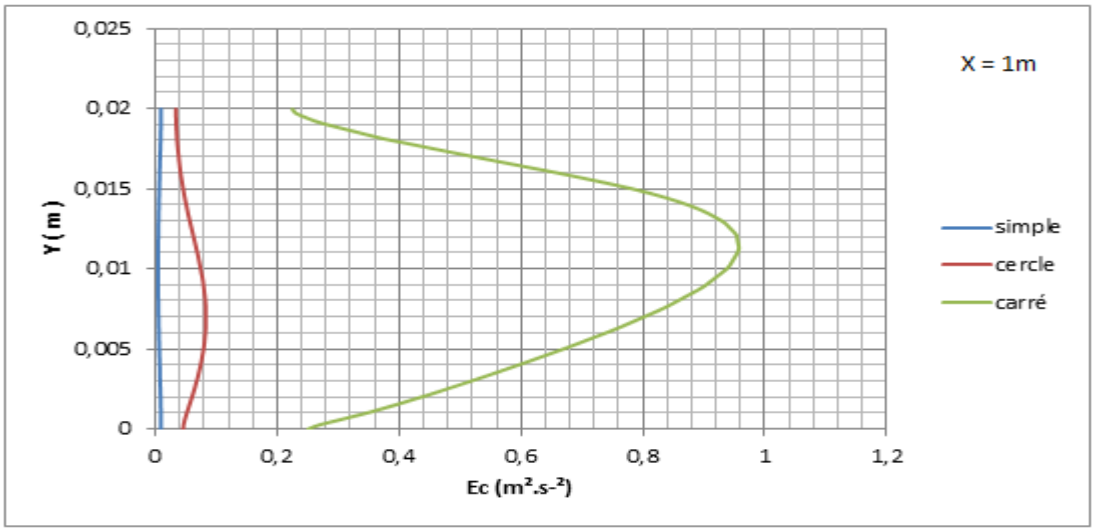


Figure IV-60:Résultats de l'énergie cinétique pour X= 1m

IV.1.6 Conclusion :

En comparant les rôles joués par les différentes formes ajoutées au canal. Et son effet sur diverses variables physiques telles que la pression, la température, la vitesse d'écoulement et l'énergie cinétique, les ailettes carrées ont contribué à accélérer le refroidissement du panneau solaire et ont aidé le fluide de refroidissement, qui est l'air, à transférer la chaleur et à provoquer des perturbations à l'intérieur le canal qui lui a permis d'évacuer la chaleur du canal et a donné de meilleurs résultats.

Conclusion Générale :

La protection de l'environnement est devenue une préoccupation majeure ces dernières années. Ainsi, de nombreux axes de recherche se sont orientés vers l'utilisation des énergies renouvelables, dont l'énergie solaire. Le solaire PV est une énergie renouvelable car il utilise une source d'énergie naturelle qui est le soleil. L'étude que nous avons menée est liée aux panneaux solaires photovoltaïques, elle nous a permis de connaître le fonctionnement de ce système et d'enrichir nos connaissances dans l'utilisation de l'énergie solaire, nous avons eu l'opportunité de réaliser un système de refroidissement pour les panneaux solaires et les moyens de les nettoyer pour augmenter l'efficacité de leur travail et prolonger leur durée de vie, puis de surveiller la variation des valeurs (pression / vitesse Débit de liquide de refroidissement / énergie cinétique...) grâce à un programme appelé ANSYS, qui nous a permis d'étudier le refroidissement des panneaux solaires basé sur des simulations numériques, ce qui nous a permis de clarifier l'effet de l'ajout d'ailettes à l'intérieur du canal PV et de clarifier les différences entre les formes de ces ailettes pour nous aider à choisir la meilleure forme qui donne les meilleures performances de refroidissement des panneaux solaires.

Bibliographie

[1] J. J. Michael and S. Iniyan, "Performance of copper oxide/water nano fluid in a flat plate solar water heater under natural and forced circulations," *Energy Conversion & Management*, vol. 95, pp. 160–169, 2015.

[2] http://www.panneaux-solaires-france.com/histoire-panneaux-solaires Histoiredes panneaux photovoltaïques [En ligne] CRDP de Basse-Normandie - thém@doc - Les énergies renouvelables, c'est quoi? Énergie solaire. [En ligne] (consulté 02/02/2019)

[3] Z. Xu and C. Kleinstreuer, "Concentration photovoltaic-thermal energy co-generation system using nanofluids for cooling and heating," *Energy Conversion & Management*, vol. 87, pp. 504–512, 2014.

[4] A. Radwan, M. Ahmed and S. Ookawara, " Performance of concentrated photovoltaic cells using various microchannel heat sink designs ", Proc. of the ASME 2016 10th Int. Conf. on Energy Sustainability, Charlotte (USA), Paper No. ES2016-59411, pp. V001T08A005; 10 pages, 2016.

[6] A. Royne, "Cooling devices for densely packed, high concentration PV arrays," Master thesis, University of Sydney, 2005.

[7] Y. Gao, H. Huang, Y. Su, and S. B. Riffat, "A parametric study of characteristics of concentrating PV modules," *International Journal of Low-Carbon Technology*, vol. 5, pp. 57–62, 2010.

[8] S. Agrawal and G. N. Tiwari, "Energy and exergy analysis of hybrid micro-channel photovoltaic thermal module," *Solar Energy*, vol. 85, no.

2, pp. 356–370, 2011.

[9] El-Shaer et al;2014, Effect of Light intensity and Temperature on Crystalline Silicon Solar Modules Parameters, International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering Volume 4, Issue 8)

[10] E. Chaniotakis, "Modelling and Analysis of Water Cooled

Photovoltaics," Master thesis, University of Strathclyde, 2001.

[11] Francis Domain, et Hervé Boileau, chapitre' caractéristiques des cellules despanneaux PV' université de Savoie Mont-Blanc, France

[12] M.S. Abd-Elhady et al, May 2016 article "An innovative solution to the overheating problem of PV panels" Energy Conversion and Management 157.

[13] Abdelilah SLAOUI, Électricité photovoltaïque -Matériaux et marchés,Énergies | Ressources énergétiques et stockage, avril 2016.

[14] HOURIA ALIOUA , el Watan le 25 novembre 2018

[15] Wolf M. Performance analyses of combined heating and photovoltaic power

[16] Mohammed FACI et al, 2018 article « Analyse des journées caniculaires au Sahara algérien »Centre de Recherche Scientifique et Technique sur les RégionsArides (CRSTRA), Biskra, Algérie.

Webography :

[17] https://elearn.univ-tlemcen.dz/mod/resource/view.php?id=7354

[5]http://leblogdedoczaius.over-blog.com/article-la-vie-risquee-d-un-panneau-photovoltaique-68496059.html→Consulté le 21/03/2019