

People's Democratic Republic of Algeria
Ministry of Higher Education and Scientific Research
Mohamed Boudiaf University of M'sila
Faculty of Technology



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة المسيلة
كلية التكنولوجيا

Département de Génie Mécanique

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention du diplôme de :

MASTER

En Génie Mécanique

Option : **Energétique**

Présenté par :

MERZOUG Abdallah & ZIDANE Khalid

Thème

ETUDE THERMIQUE D'UN PANNEAU PHOTOVOLTAIQUE

Devant le jury composé de :

NOM et Prénom	Grade	Qualité
Said Zergane	MCB	Président
Razika Ihaddadene	Pr.	Encadreur
Nabila Ihaddadene	Pr.	Examineur

Année Universitaire : 2023 / 2024

N° d'ordre : GM/...../2024

Remerciements

Je veux remercier tout d'abord mon Dieu Allah tout puissant.

Puis je tiens à exprimer mes remerciements les plus sincères à mon à mon encadreur, Pr RAZIKA IHADDADENE , pour m'avoir guidé, conseillé, et surtout pour sa confiance totale en moi et sa patience tout au cours de ce travail.

J'adresse aussi mes sincères remerciements à l'ensemble du département de mécanique.

Mes profonds remerciements vont aussi à mes profs qui m'ont appris durant tout au mon parcours académique jusqu'à maintenant.

Enfin, tous mes remerciements vont à ma deuxième famille et mes amis de la Département qui ont été nombreux à nous aider et à nous encourager.

Merci à tous. Merci pour tout.

I.6 Technologie de capteurs.....	13
Conclusion	

Chapitre II: FORMULATION MATEMATIQUE DU PROBLEME

Introduction.....	15
II.1. Généralité sur le transfert de chaleur.....	15
II.1.1. Transfert de chaleur par conduction	15
II.1.2. Transfert de chaleur par rayonnement	16
II .1.3. Transfert de chaleur par convection	17
II.1.3.1. convection libre (naturelle)	18
II .1.3.2 la convection forcee	18
II .1.3.3 la convection mixte	18
II.1.4 Les nombres sans dimension.....	19
II.1.4.1 nombre de reynolds.....	20
II.1.4.2. Nombre de Prandtl.....	21
II.1.4.3. Nombre de Nuselt.....	21
II.1.4.4. Nombre de Grashof	21
II.1.4.5. Nombre de Rayleigh.....	22
II .1.4.6. Nombre de Richardson.....	22
II.2. La géométrie de problème étude	22
II.4. Bilan énergétique d'un panneau PV.....	26
CONCLUSION	29

Chapitre III : FORMULATION NUMERIQUE

III.1 Introduction.....	30
III.2. Logiciel ANSYS Workbench.....	30
III.2.1 Le menu principal de Workbench.....	30
III.2.2 Création de la géométrie.....	32
III.2. 3 Données et matériaux	38
III.2.4 Le maillage.....	39
III.2.5 Configuration.....	43
Conclusion.....	45

Chapitre IV : RESULTATS ET DISCUSSIONS

IV.1. Validation de notresimulation.....	46
IV.2. Distribution température dans les différent couche de panneau PV.....	46
IV.3. Effet des radiation sur la distribution des temperateur dans une panneau PV	54
IV.4 Effet des radiation sur la distribution des temperateur dans une panneau PV	54
Conclusion	59
Conclusion Générale	60
Références bibliographiques	62
Annexe A	65
Résumé	67

Listes des tableaux

Tableau II.1 : Caractéristiques électriques du module photovoltaïque	24
Tableau II.2: Les dimensions et les caractéristiques thermophysiques de chaque couche composant le panneau PV.....	24
Tableau II.3 : Les propriétés optiques de chaque couche composant le panneau PV.....	25
Tableau IV.1 :la température moyen Températures moyennes (T_{moyen} °C) des couches de panneaux photovoltaïques	53

Tableau IV.2 : la température moyen Températures moyennes (T_{moyen} °C) des couches
de panne aux photovoltaïque.....58

Liste des figures

Figure I.1: Panne aux solaires.....	08
Figure I.2: Composants de panneaux solaires.....	10
Figure I.3: Principe de fonctionnement du panneau solaire	11
Figure II.1: Principe de la conduction thermique.....	16
Figure II.2: Principe du rayonnement thermique.....	17
Figure II.3: Action de fluide en mouvement dans la convection.....	22
Figure II.4: Le panneau PV utilisé durant notre étude	24
Figure II.5: Les transformations de chaleur dans un panneau PV.....	27
Figure III.1: La fenêtre lancement du logiciel.....	30
Figure III.2: Le menu principal de Workbench.....	31
Figure III.3: Création de la géométrie en analyse thermique.....	31
Figure III.4: Création d'un projet en Géométrie	32
Figure III.5: Création d'un modèle (plan de vue).....	33
Figure III.6: Création d'esquisse.....	33
Figure III.7: Création d'esquisse et Définition des côtes.....	34
Figure III.8: La direction de création des 4 cellules du panneau PV.....	34
Figure III.9: Création des 4 cellules du panneau PV.....	35
Figure III.10: Création des 36 cellules du panneau PV.....	36
Figure III.11: La création de toutes les couches du panneau PV.....	36
Figure III.12: d'informations pour chaque couche du panneau PV.....	37
Figure III.13: Les différentes couches du panneau photovoltaïque.....	37
Figure III.14: La création du cadre « Frame » dans le panneau PV.....	37

Figure III.15:	Fenêtre de données d'ingénierie dans un ANSYS	38
Figure III.16:	Fenêtre de données d'ingénierie.....	38
Figure III.17:	Introduction de cas physiques et thermiques dans la géométrie.....	39
Figure III.18:	Fixation des valeurs physiques dans les matériaux.....	39
Figure III.19:	Connexion de la géométrie dans une thermique stationnaire.....	40
Figure III.20:	la géométrie dans steady state thermal.....	41
Figure III.21:	Les contacts entre les différentes couches du panneau PV.....	41
Figure III.22:	Le processus de contact de deux couches d'un panneau PV.....	41
Figure III.23:	Spécification de la méthode de Maillage.....	42
Figure III.24:	Maillage du panneau PV.....	42
Figure III.25:	Maillage de la couche Silicon cells.....	42
Figure III 26:	Configuration d'une condition aux limites.....	44
Figure III .27 :	Configuration de toutes les conditions aux limites du panneau PV.....	44
Figure IV.1 :	Distribution des températures dans les différentes couches du panneau PV...46	
Figure IV.2:	Courbe de changement de température pour les couches de panneaux photovoltaïques.....	48
Figure IV.3 :	Représentation de la distribution de la température de surface dans les couches de panneau PV. ($G=800 \text{ W/m}^2$ et $V=1 \text{ m/s}$)	50
Figure IV.4 :	Représentation de la distribution de la température de surface dans les couches de panneau PV. ($G=600 \text{ W/m}^2$ et $V=1 \text{ m/s}$).....	51
Figure IV.5 :	Représentation de la distribution de la température de surface dans les	

couches de panneau PV.(G= 400 W/m ² et V=1 m/s).....	53
Figure IV.6: Représentation de la distribution de la température de surface dans les couches de panneau PV.(V=0,5m/s et G=1000 W/m ²)	55
Figure IV.7: Représentation de la distribution de la température de surface dans les couches de panneau PV.(V=1,5m/s et G=1000 W/m ²)	56
Figure IV.8: Représentation de la distribution de la température de surface dans les couches de panneau PV.(V=2 m/s et G=1000 W/m ²)	57

Nomenclature

ϕ : flux de chaleur transmis par conduction (w).

K : Conductivité thermique du milieu ($Wm^{-1} \text{ } ^\circ K^{-1}$ Ou $Wm^{-1} \text{ } ^\circ C^{-1}$).

S : Aire de la section de passage du flux de chaleur (m^2).

$\frac{dt}{dx}$: Gradient de température en x en ($^\circ K.m^{-1}$).

ϕ : Flux de chaleur transmis par rayonnement(w).

σ : Constante de Stéphan Boltzmann ($5,67 \times 10^{-8} Wm^{-2} K^{-4}$).

ϵ_p : Facteur d'émission de la surface(l'émissivité de la surface).

T_p :Température de la surface(k).

T_∞ : Température du milieu environnant la surface(k). S :Airedela surface(m^2)

ϕ : Flux de chaleur transmis par convection(W)

h : Coefficient de transfert de chaleur par convection($Wm^{-2} \text{ } ^\circ C^{-1}$)

S : Aire de la surface de contact solide / fluide (m^2).

T_s :Température de surface du solide ($^{\circ}\text{C}$)

T_a :Température du fluide loin de la surface du solide ($^{\circ}\text{C}$)

V : La vitesse moyenne [mS^{-1}].

L : La longueur caractéristique[m].

$\nu = \frac{\mu}{\rho}$:la viscosité cinématique du fluide [m^2s^{-1}].

μ : La viscosité dynamique [$\text{Pa}\cdot\text{s}$]

S : est la surface du tuyau [m^2].

P : est son périmètre[m].

μ : La viscosité dynamique [$\text{Pa}\cdot\text{s}$].

C_p : La chaleur spécifique à pression constante [$\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$].

K : La conductivité thermique [$\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$].

h : Le coefficient d'échange thermique [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$]

g : L'accélération de la pesanteur [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$].

ΔT : La différence de température [$^{\circ}\text{C}$].

β : le coefficient d'expansion thermique [$1/\text{K}$].

T_s : La température de la paroi [$^{\circ}\text{C}$].

T_{∞} :La température du fluide loin de la paroi [$^{\circ}\text{C}$].

ν :La viscosité cinématique du fluide [$\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$]

α :La diffusivité thermique $\frac{K}{\rho C_p}$ [m^2s^{-1}]

$Q_{\text{générée}}$: C'est l'énergie électrique générée par le panneau PV

$Q_{\text{pertes, th, haut}}$: C'est les pertes thermiques en haut du panneau PV

$Q_{\text{pertes, th, bas}}$: C'est les pertes thermiques en bas du panneau PV

$Nu_{F,h}$: le nombre de Nusselt qui correspond à la convection forcée en haut du panneau PV

L : la longueur de panneau PV

k : La conductivité thermique de l'air en haut du panneau PV

Re : le nombre de Reynolds ;

B : l'angle d'inclinaison du panneau PV.

$Nu_{N,h}$: le nombre de Nusselt qui correspond à la convection naturelle en haut du panneau PV

L : la longueur de panneau PV

k : La conductivité thermique de l'air en haut du panneau PV

Re : le nombre de Reynolds ;

B : l'angle d'inclinaison du panneau PV.

Introduction Générale

L'énergie solaire est une source d'énergie qui dépend du soleil, elle permet de produire de l'électricité à partir de panneaux photovoltaïques ou des centrales solaires thermiques, grâce à la lumière du soleil captée par ces systèmes.[1] Cette énergie est actuellement l'une des sources d'énergie renouvelable les plus répandues dans le monde grâce à sa disponibilité généralisée dans le monde, en particulier dans les régions à températures élevées (par exemple le sud d'Algérie).

Un module photovoltaïque (PV) est constitué d'un assemblage en série et /ou en parallèle des cellules solaires, qui peuvent absorber jusqu'à 80% du rayonnement solaire incident. Une petite quantité de cette énergie incidente est transformée en énergie électrique, mais le reste de cette énergie se présente sous forme de chaleur. Cette chaleur entraîne une augmentation de la température du module PV qui à son tour, conduit à une diminution de son efficacité électrique et peut altérer la structure interne de la cellule photovoltaïque et provoquer une dégradation thermique.

L'application photovoltaïque en Algérie présente un intérêt particulier, puisqu'elle dispose d'un gisement solaire très important. Ce qui se traduit par le nombre des centrales photovoltaïques installées et en cours d'installation sur le territoire national. Le problème majeur des panneaux photovoltaïques réside dans la dégradation de leur performance suite à l'augmentation de leur température particulièrement dans les zones chaudes. Le but de notre projet de fin d'étude est l'étude thermique d'un panneau PV par simulation numérique en tenant compte de l'effet des radiations solaires et de la vitesse du vent sur la distribution de température dans un panneau PV. Notre mémoire de fin d'étude est divisé en quatre chapitres répartis comme suit :

Le premier chapitre est consacré au principe de conversion de l'énergie solaire en énergie électrique par la cellule photovoltaïque, les principales caractéristiques et les technologies des éléments constitutifs d'un générateur PV, ainsi que les différentes configurations des

systèmes photovoltaïques et leurs applications.

Le deuxième chapitre présente le système étudié (panneau PV) ces dimensions, sa composition, ces caractéristiques et les équations qui gouvernent l'étude thermique du panneau PV.

Le troisième chapitre vise à expliquer comment utiliser le logiciel ANSYS pour modéliser numériquement un panneau PV, notamment en effectuant la géométrie du panneau PV, les caractéristiques des matériaux des différentes couches constituant le panneau PV, le maillage, les conditions aux limites.

Le quatrième chapitre présente les résultats (et leur discussion) de la simulation du panneau photovoltaïque en utilisant le logiciel ANSYS Workbench. Les résultats regroupent la validation de notre simulation, la distribution de température dans les différentes couches constituant le panneau PV (ETFE (verre), EVA1, Cellule, EVA2, PET, TAPE et CFRP), étude de l'effet des radiations solaires sur la distribution des températures dans un panneau PV et l'effet de la vitesse du vent sur la distribution des températures dans un panneau PV.

En fin, nous terminerons notre mémoire par une conclusion générale.

chapitre01:

Etat de l'art sur les panneaux PV

Introduction:

L'électricité photovoltaïque est une technologie remarquable qui transforme le rayonnement lumineux en électricité. *L'effet photovoltaïque a été découvert en 1839 par le physicien français Alexandre-Edmond Becquerel. Cette filière s'est ensuite développée par la nécessité d'approvisionner en électricité solaire les satellites.*[2]

I.1. L'énergie renouvelable:

Est une énergie dérivée des ressources naturelles de l'environnement et qui ne s'épuise pas. L'énergie renouvelable est produite à partir du vent, du soleil et de l'eau, en plus de l'énergie résultant des marées, ou l'énergie géothermique est considérée comme une énergie respectueuse de l'environnement. , contrairement à l'énergie traditionnelle qui repose sur les combustibles fossiles et le pétrole, ce qui nuit à l'environnement, provoque une augmentation de la température de la Terre, provoque un réchauffement climatique et provoque une pollution de l'environnement avec ses déchets, ce qui affecte la vie des organismes vivants à la surface. de la Terre, y compris les humains, et provoque de nombreux problèmes de santé, et de nombreuses maladies jusque-là inconnues sont apparues auparavant..[3]

I.1.1.Types d'énergie renouvelable

Il existe plusieurs types d'énergies renouvelables:

- A. Énergie solaire :**L'énergie solaire est la plus grande source d'énergie, de chaleur et de lumière à la surface de la Terre. Elle est utilisée en collectant l'énergie solaire à l'aide de cellules solaires et en la convertissant en énergie électrique.[4]
- B. Énergie éolienne :** éolienne est généralement utilisée pour produire de l'énergie électrique en installant des turbines et des ventilateurs géants sur des zones élevées du sol. Lorsque les courants d'air passent sur les pales du ventilateur, celles-ci se déplacent et font ainsi fonctionner les turbines qui y sont connectées, produisant ainsi de l'énergie électrique. utilisé dans l'éclairage et dans les usines.[5]
- C. L'énergie géothermique est la chaleur de l'intérieur de la Terre.**
- D. Énergie biomasse.**
- E. L'énergie de l'eau.**

I.2. Définition du panneau solaire:

Un panneau solaire, c'est cet appareil placé au sol, sur les toits ou sur les ombrières de parking par exemple qui utilise la lumière du soleil pour produire de l'énergie électrique ou de la chaleur (énergie thermique)[6]

I.2.1. Composants de panneaux solaires

Solaire, photovoltaïque ou cellule photovoltaïque. Au début de sa fabrication, on l'appelait batterie solaire, mais cela a aujourd'hui une tout autre signification. Un dispositif qui convertit l'énergie solaire directement en énergie électrique, en profitant de l'effet photovoltaïque. Il est constitué d'une couche de silicium à laquelle sont ajoutées quelques impuretés pour lui donner certaines propriétés électriques. La couche supérieure face au soleil est ajoutée à l'élément phosphore, pour lui donner la propriété de pomper des électrons lorsque la lumière la frappe. Cette couche est appelée couche N, tandis que l'élément bore pour la couche inférieure lui donne la propriété d'absorber les électrons. Cette couche est appelée **P**. Lorsque le rayonnement solaire frappe la couche supérieure, il donne aux électrons une énergie qui dépend de l'intensité du rayonnement solaire. Lorsqu'il y a un conducteur électrique entre les deux couches, les électrons se déplacent de la couche supérieure vers la couche inférieure, créant ainsi un courant électrique. courant et tension. Les cellules solaires sont une source importante pour fournir aux engins spatiaux et aux satellites l'énergie dont ils ont besoin. L'énergie électrique est considérée comme l'une des alternatives auxiliaires aux sources d'énergie traditionnelles que sont le pétrole, le charbon, le gaz et ses dérivés, qui sont de nature limitée et sujettes à l'épuisement en raison de leur épuisement massif. Les cellules solaires convertissent l'énergie des rayons solaires directement en électricité et se caractérisent par la production d'électricité sans entraîner de pollution de l'environnement, et leur durée de vie atteint 30 ans.[7]

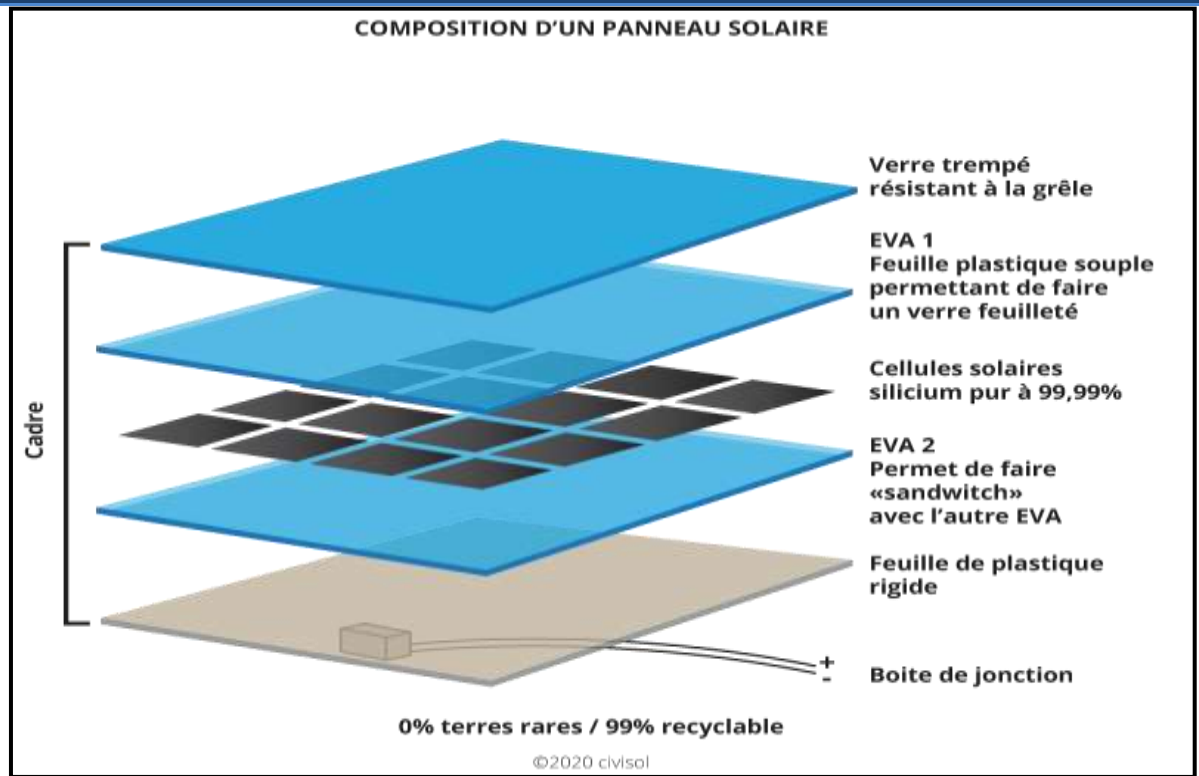


Figure I.2 : Composants de panneaux solaires[web2]

I.2.2. Principe de fonctionnement du panneau solaire

L'effet photoélectrique utilisé dans les cellules permet une conversion directe. L'énergie lumineuse du soleil est convertie en électricité. Ceci est réalisé grâce à génération et transport de charges dans un matériau semi-conducteur. Courants électriques positifs et négatifs sous l'influence de la lumière.

De manière basique, une cellule solaire est composée d'un matériau semi-conducteur comportant deux parties, l'une présentant un excès d'électrons, et l'autre un déficit en électrons (dite dopée de type p) :

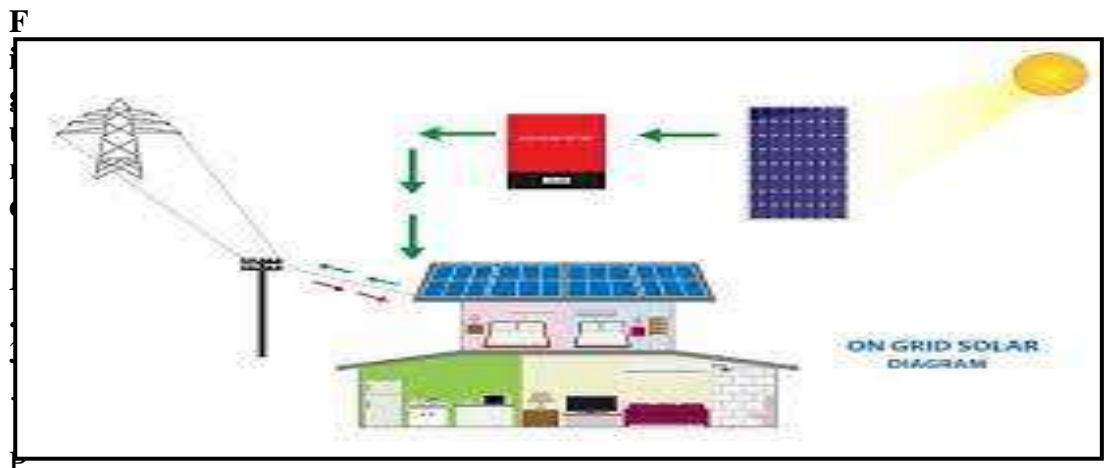
Etape 1: Comme résultat de la mise en contact des deux parties, on remarque aux abords de la surface de contact ce qui suit:

- Les électrons diffusent de la partie p vers la partie n grâce à un gradient de concentration. Le côté n devient chargé positivement.
- Les trous diffusent de la partie n vers la partie p grâce à un gradient de concentration. Le côté p devient chargé négativement.

Étape 2 : Une région de charge d'espace (Z.C.E) est générée et un champ électrique E est généré entre la partie (charges positives) et la partie (chargée négativement). La jonction "p-n" est configurée.

Étape 3 : L'énergie des photons est obtenue par illumination de la jonction s'il dépasse la bande passante, l'atome est excité. Tout le monde. Ce dernier permet aux électrons de passer de la bande de valence à la bande. Il laisse également une fente portable pour la fermeture. C'est notre. La formation de paires est appelée "trou d'électron". C'est une paire de trous électroniques il est séparé par un champ électrique E.

Étape 4: Si les contacts métalliques sont des deux côtés si notre réseau est à l'opposé de ces réseaux convection (comme une lampe), les électrons de la région n combinés trou de zone P à travers des contacts externes variations possibles : Courant de crue.[8]



principe de fonctionnement du panneau solaire[web3]

I.3. Paramètres physiques d'une cellule PV :

La cellule PV: La cellule PV ou encore photopile est le plus petit élément d'une installation photovoltaïque. Elle est composée de matériaux semi-conducteurs et transforme directement l'énergie lumineuse en énergie électrique. Les cellules photovoltaïques sont constituées : d'une fine couche semi-conductrice (matériau possédant une bande interdite, qui joue le rôle de barrière d'énergie que les électrons ne peuvent franchir sans une excitation extérieure, et dont il est possible de faire varier les propriétés électroniques) tel que le silicium, qui est un matériau présentant une conductivité électrique relativement bonne, d'une couche anti-reflet permettant une pénétration maximale des rayons solaires, d'une grille conductrice sur le dessus ou cathode et d'un métal conducteur sur le dessous ou anode, les plus récentes possèdent même une nouvelle combinaison de multicouches réfléchissants justes

en dessous du semi-conducteur, permettant à la lumière de rebondir plus longtemps dans celui-ci pour améliorer le rendement.

Une cellule photovoltaïque est basée sur le phénomène physique appelé effet photovoltaïque qui consiste à établir une force électromotrice lorsque la surface de cette cellule est exposée à la lumière. La tension générée peut varier entre 0.3 V et 0.7 V en fonction du matériau utilisé et de sa disposition ainsi que de la température et du vieillissement de la cellule[9].

I.4. Les différentes filières photovoltaïques:

En pratique, trois principales filières sont utilisées pour concevoir des cellules solaires photovoltaïques :

- **Le Silicium:** Les siliciums ont l'avantage de pouvoir être fabriqué à partir de composants de quartz, de granit, de sable et de grès, qui épuisent rarement les ressources naturelles. La technologie de mise en œuvre des cellules solaires au silicium est bien développée et fonctionne depuis plusieurs années. Il n'est donc pas surprenant que ce secteur représente actuellement 90% du marché mondial de l'énergie solaire.[10]
- **Les couches minces :** Couper les flocons en blocs. Le silicium provoque une perte d'environ 30 %. Contactez ces chercheurs pour l'introduction d'une approche en couches minces épaisses. Déposé sur des substrats micron, en verre ou flexibles. Empilez pour profiter de la qualité des différents matériaux. En particulier, il inclut la possibilité d'utiliser la longueur de chacun d'eux. Ondes lumineuses légèrement différentes. [10]
- **Cellules organiques et plastiques :** Les cellules organiques sont encore au stade de laboratoire et comprennent les voies cellulaires dites « humides ». Les voies de « Graetzel » ou des polymères organiques sont également appelées cellules plastiques. Les progrès sur ces questions sont rapides, mais leur avenir aussi. Bien que l'industrie ne soit pas encore établie, l'appareil est très coûteux[11].

I.5. Avantages et les inconvénients du système solaire photovoltaïque :

a) Avantages:

- Énergie électrique non polluante à l'utilisation et s'inscrit dans le principe de développement durable.
- Source d'énergie renouvelable car inépuisable à l'échelle humaine.

- Utilisables soit dans les pays en voie de développement sans réseau électrique important soit dans des sites isolés tels qu'en montagne où il n'est pas possible de se raccorder au réseau électrique national.

b) Inconvénients:

- Coût dépendant de la puissance de crête ;
 - 1) Le rendement actuel des cellules photovoltaïques reste assez faible (environ 10% pour le grand public) et donc ne délivre qu'une faible puissance ;
 - Marché très limité mais en développement ;
 - Production d'électricité ne se fait que le jour alors que la plus forte demande chez les particuliers se fait la nuit ;
 - Le stockage de l'électricité est quelque chose de très difficile avec les technologies actuelles (coût écologique des batteries très élevé)
 - **Durée de vie:** 20 à 25 ans, après le silicium "cristallisé" rend inutilisable la cellule.

I.6. Technologie de capteurs :

Le silicium est actuellement le matériau le plus utilisé pour fabriquer les cellules photovoltaïques. Il doit être purifié afin d'obtenir un silicium de qualité photovoltaïque. Il se présente alors sous la forme de barres de section ronde ou carrée appelée lingots. Les lingots sont ensuite découpés en wafers : fines plaques de quelques centaines de microns d'épaisseur. Ils sont ensuite enrichis en éléments dopants pour obtenir du silicium semiconducteur de type P ou N. Des rubans de métal sont alors incrustés en surface et raccordés à des contacts pour constituer des cellules photovoltaïques. Les cellules les plus utilisées pour la production d'électricité sont les cellules silicium polycristallin grâce à leur bon rapport qualité-prix. Les constructeurs garantissent une durée de vie de 20 à 25 ans à 80 % de la puissance nominale.

Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté le principe de conversion de l'énergie solaire en énergie électrique par la cellule photovoltaïque, les principales caractéristiques et les technologiques des éléments constitutifs d'un générateur PV, ainsi que les différentes configurations des systèmes photovoltaïques et leurs applications.

chapitre02:

Formulation mathématique du problème

Introduction

Le transfert de chaleur est un processus d'une grande importance dans le domaine de l'industrie et des technologies. Bien qu'il se manifeste sous divers trois modes (rayonnement, conduction et convection), cette dernière est la plus répandue dans certains domaines bien spécifiques tel que le refroidissement des processeurs et composants électroniques, les radiateurs et les échangeurs de chaleurs.[12]

Dans ce chapitre, on présente le système étudié (panneau PV) ses dimensions, sa composition, ces caractéristiques et les équations qui gouvernent l'étude thermique du panneau PV.

II.1. Généralité sur le transfert de chaleur :

Le transfert de chaleur entre deux corps est une interaction énergétique qui résulte d'un gradient de température entre deux corps, ce qui permet le transfert d'énergie microscopique d'un corps à l'autre. Cela correspond en réalité à un transfert d'agitation thermique entre particules, au gré des chocs aléatoires qui se produisent à l'échelle microscopique.[13]

II.1.1 Transfert de chaleur par conduction:

Conduction est une transmission de chaleur dans la matière sans mouvement qui fait passer la chaleur des zones chaudes vers les zones froides à l'aide de deux mécanismes (vibration moléculaire, diffusion L'électronique). Elle concerne sur tout les solides, mais aussi les liquides et les gaz pour les quel elle est souvent négligeable par rapport à la convection ou au rayonnement.[14]

La loi fondamentale de ce mode de transfert (**Loi de Fourier**) exprime le flux de chaleur transmis dans un milieu de conductivité thermique $K(Wm^{-1}K^{-1}OU Wm^{-1}C^{-1})$ à travers une surface S , établie mathématiquement par Jean-Baptiste Biot en 1804 puis expérimentalement par Fourier en 1822[15], elle s'écrit:

$$\phi = -KS \frac{dT}{dx} \dots \dots \dots (II.1)$$

Le flux de chaleur par conduction est proportionnel au gradient de température. Sous forme algébrique et suivant la direction x perpendiculaire à la surface S , le flux s'écrit:

$$\phi = -KS \frac{dt}{dx} \dots\dots\dots (II.2)$$

Où :

ϕ : flux de chaleur transmis par conduction (w).

K : Conductivité thermique du milieu ($Wm^{-1} \text{ } ^\circ K^{-1}$ Ou $Wm^{-1} \text{ } ^\circ C^{-1}$).

S : Aire de la section de passage du flux de chaleur (m^2).

$\frac{dt}{dx}$: Gradient de température en x en ($^\circ K.m^{-1}$).

Ainsi que la densité de chaleur ϕ en Wm^{-2} :

$$\phi = \frac{\phi}{s} = -K \frac{dt}{dx} \dots\dots\dots (II .3)$$

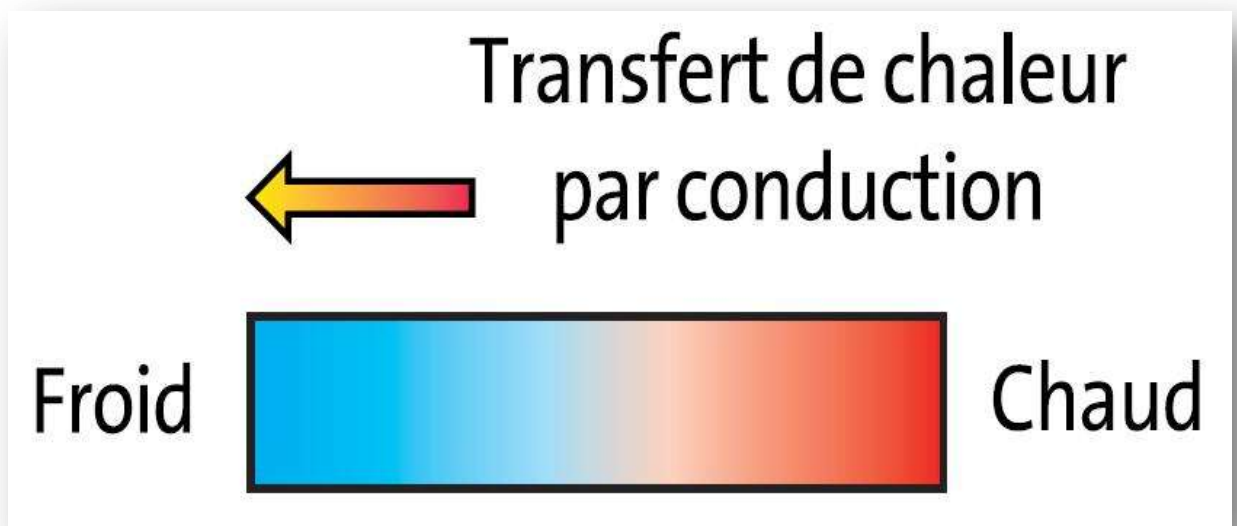


Figure II.1: principe de la conduction thermique[web4]

II.1.2 Transfert de chaleur par rayonnement :

Le rayonnement thermique est le mode de transmission par le quel la chaleur passe d'un corps à haute température à autre froid sans aucun contact entre eux , par le déplacement d'ondes électromagnétiques dans l'espace . C'est donc les eul mode de transfert de chaleur qui peut se propager dans le vide.[16]

Ce mode de transfert de chaleur concerne les longueurs d'on des comprises entre 100 μm et 0,01 μm et vade l'infrarouge à l'ultraviolet en couvrant le visible.

Le rayonnement est une vibration électromagnétique qui se transmet dans le vide à la vitesse de lumière($3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$), Dans ce cas nous avons la relation :

$$\Phi = \sigma \epsilon_p S (T_p^4 - T_\infty^4) \dots\dots\dots(\text{II.4})$$

Avec:

Φ : Flux de chaleur transmis par rayonnement(w).

σ : Constante de Stéphan Boltzmann ($5,67 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-4}$).

ϵ_p :Facteur d'émission de la surface (l'émissivité de la surface).

T_p : Température de la surface(k).

T_∞ : Température du milieu environnant la surface(k).

S : Aire de la surface (m^2).

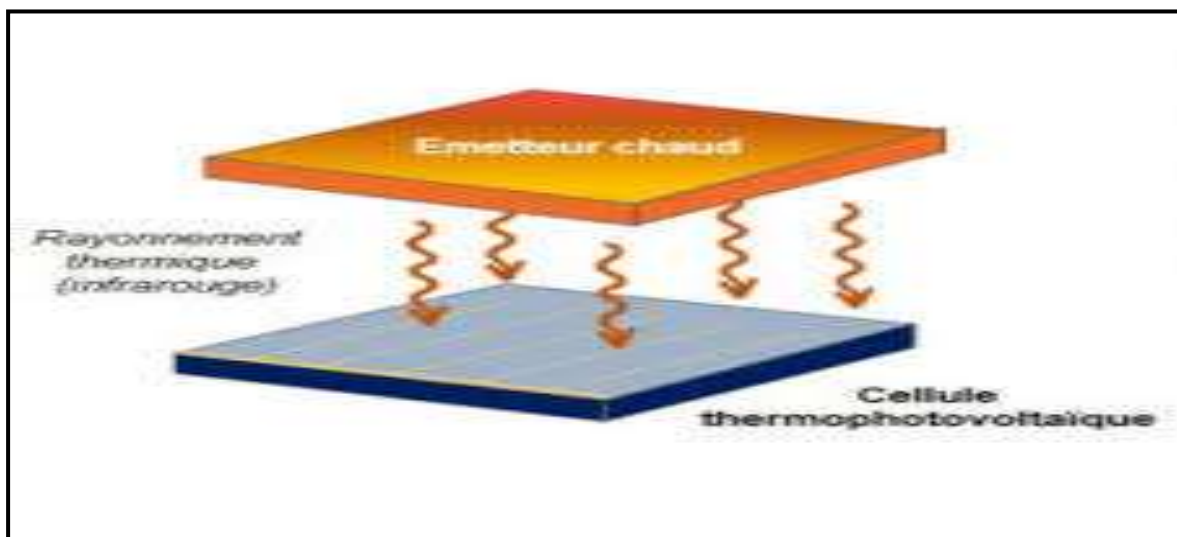


Figure .II.2 :Principe du rayonnement thermique[web5]

II.1.3 Transfert de chaleur par convection :

La convection est un mode de transport d'énergie par l'action combinée de la conduction ,de l'accumulation de l'énergie et de mouvement de milieu ,elle est considérée comme le mécanisme le plus important de transport de l'énergie entre une surface solide et un liquide ou gaz.

Le transport d'énergie par convection d'une surface dont la température est supérieure à celle du fluide qui l'entoure s'effectue en plusieurs étapes.

D'abord la chaleur s'écoule par conduction de la surface aux molécules du fluide adjacent. L'énergie ainsi transmise sert à augmenter la température est l'énergie interne de ces molécules du fluide. En suite les molécules vont se mélanger avec d'autres molécules et transférer une partie de leur énergie . Dans ce cas l'écoulement transporte simultanément, le fluide et l'énergie. L'énergie est à présent ,emmagasinée dans les molécules du fluide et elle est transportée sous l'effet de leur mouvement.[17]

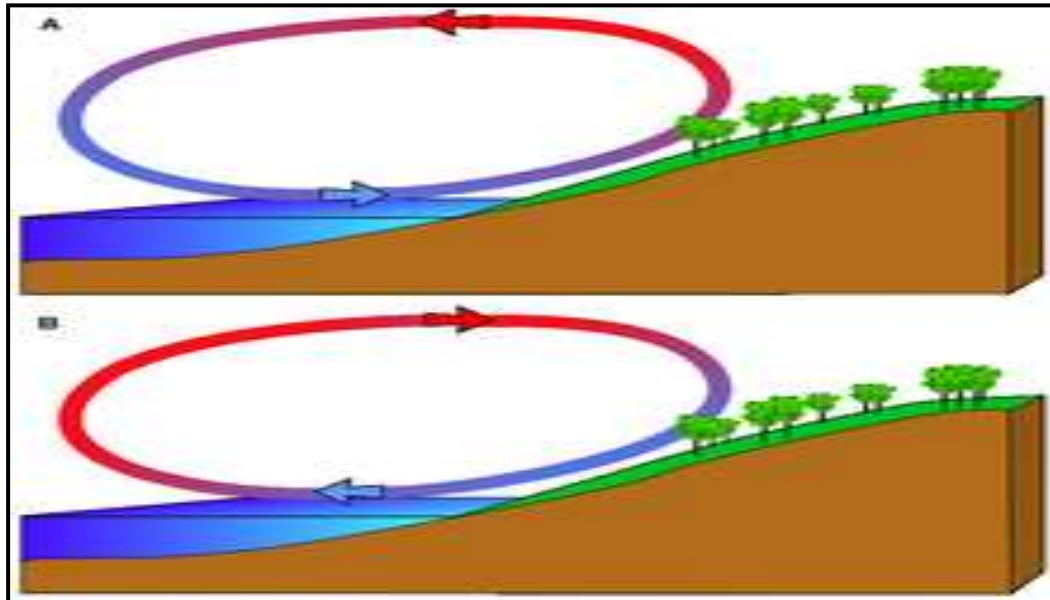


Figure .II.3: Action de fluide en mouvement dans la convection[web6]

La puissance transférée par convection est donnée par la relation :

$$\Phi = h S (T_s - T_a) \dots \dots \dots (II.5)$$

Avec :

Φ : Flux de chaleur transmis par convection(W)

h : Coefficient de transfert de chaleur par convection($Wm^{-2}C^{-1}$)

S : Aire de la surface de contact solide / fluide (m^2).

T_s :Température de surface du solide (°C)

T_a :Température du fluide loin de la surface du solide (°C)

La transmission de chaleur par convection est désignée selon le mode d'écoulement du fluide , par convection libre(naturelle),convection forcée et convection mixte.

II.1.3.1. Convection libre (naturelle) :

Le mouvement du fluide est engendré par les variations de densité causées par des variations de température au sein du fluide ,il en résulte une convection laminaire ou turbulente, suivant la valeur du nombre de Grachofou de Rayleigh. [18]

II.1.3.2. La convection forcée:

Ce type est un résultat quand le mouvement du fluide est créé par une différence de pression .Compte tenu du lien entre le transfert de masse et le transfert de chaleur ,il est nécessaire de considérer la nature du régime d'écoulement (régime turbulent ou régime laminaire).[19]

La relation générale pour la convection forcée est $Nu= f (Re, Pr)$. En Micro électronique , le transfert de chaleur obéit alors à l'expression suivant :

$$Nu=cRe^n Pr^m(II.6)$$

Où c : n et m sont des constantes dépendant des caractéristiques du solide et du fluide.[17]

II.1.3.3. La convection mixte :

La convection mixte correspond au couplage des deux phénomènes précédents (convection naturelle et forcée) quand les vitesses d'écoulement, fictives, dues aux deux types de convections sont considérées séparément, du même ordre de grandeur.[20]

II.1.4. Les nombres sans dimension:

L'étude des problèmes de transfert de chaleur par convection implique la résolution d'équations différentiel les qui décrivent la mécanique des fluides ,les échanges d'énergie ,les transferts de masse .Ces équations sont généralement liées et difficiles à résoudre théoriquement ,ce qui conduit à associer à la théorie l'expérimentation permettant de trouver les valeurs des grande ursre cherches.

L'expérimentation est souvent menée à une échelle différente de la réalité industrielle .La nécessité de définir des corrélations qui soient applicables à des appareils de tail les différentes opérant dans des situations différentes conduit à l'utilisation de paramètres a dimension els qui permettent de définir des similitudes.

On peut déterminer les nombres sans dimensions en considérant toutes les forces qui peuvent s'appliquer sur un fluide .Ain si , on a défini les forces et leurs unités de mesure dans les Système international[SI] par rapport aux variables fondamentales:

Les forces d'inertie: $F_a = m \cdot a$ $[F_a]=\rho L^2 U^2$

Les forces de viscosité: $F_\mu = \tau \cdot s$ $[F_\mu]= \mu L U$

Les forces de gravité: $F_g = m \cdot g$ $[F_g]=\rho g L^3$

II.1.4.1. Nombre de Reynolds :

Reynolds c'est un ingénieur anglais spécialiste de l'hydrodynamique qui introduit ce nombre qui est constamment utilisé dans les calculs des régimes d'écoulements. Pour connaître le régime d'écoulement nous utilisons le nombre de Reynolds, ce nombre est proportionnel au rapport entre les forces d'inertie et les forces de viscosité ,en fonction de la masse volumique ρ , de sa viscosité dynamique μ ,de sa vitesse moyenne ,et de diamètre hydraulique[21].Il s'exprime par la relation suivante :

$$\frac{F_a}{F_\mu} = \frac{\text{forces d'inertie}}{\text{forces de viscosité}} \dots\dots\dots(\text{II.7})$$

$$\frac{F_a}{F_\mu} = \frac{\rho L^2 U^2}{\mu L U} = \frac{L U}{\nu} = \text{Re} \dots\dots\dots(\text{II.8})$$

Où

V: La vitesse moyenne[mS⁻¹].

L : La longueur caractéristique[m].

$\nu = \frac{\mu}{\rho}$:la viscosité cinématique du fluide [m²s⁻¹].

μ: La viscosité dynamique[Pa·s]

Pour les écoulements internes la dimension caractéristique du système à utiliser dans le calcul du nombre de Reynolds est le diamètre hydraulique [m] qui est donné par la relation suivant :

$$D_h = \frac{4S}{P} \dots\dots\dots(\text{II .9})$$

Où

S : est la surface du tuyau [m²].

P: est son périmètre[m].

II.1.4.2 Nombre de Prandtl:

chapitre02:..... Formulation mathématique du problème

Le nombre de Prandtl est défini comme le rapport entre la diffusivité de quantité de mouvement et la diffusivité thermique .Il caractérise l'importance relative des effets thermiques et visqueux, Il peut être exprimé comme:

$$Pr = \frac{\mu C_p}{K} \dots\dots\dots(\text{II.10})$$

Où

μ :La viscosité dynamique[Pa ·s].

C_p : La chaleur spécifique à pression constante[J/ (kg·K)].

K : La conductivité thermique[Wm⁻¹K⁻¹].

II.1.4.3. Nombre de Nusselt :

Le nombre de Nusselt est défini comme le rapport entre le transfert thermique total et le transfert par conduction, Il peut être exprimé comme

$$Nu = \frac{hL}{K} \dots\dots\dots(\text{II.11})$$

Où

h : Le coefficient d'échange thermique[W.m⁻².K⁻¹]

II.1.4.4 Nombre de Grashof :

Le nombre de Grashof est défini comme le rapport entre les forces de gravité par les forces visqueuse ,Il peut être exprimé comme:

$$Gr = \frac{F_g}{F_\mu} = \frac{\text{forces de gravité}}{\text{forces de viscosité}} \dots\dots\dots(\text{II.12})$$

$$Gr = \frac{g \cdot \beta \cdot \Delta T \cdot L^3 \rho^2}{\mu^2} \dots\dots\dots(\text{II.13})$$

Où

g : L'accélération de la pesanteur [m .s⁻²].

ΔT : La différence de température[°C].

β : le coefficient d'expansion thermique[1/K].

II.1.4.5 Nombre de Rayleigh:

chapitre02:..... Formulation mathématique du problème

Le nombre de Rayleigh est défini comme le rapport entre l'importance relative de la poussée d'Archimède et le produit de la trainée visqueuse par le taux de diffusion thermique. Il peut être exprimé comme:

$$\mathbf{Ra} = \frac{g}{\nu \alpha} (T_s - T_\infty) \cdot L^3 = \mathbf{Gr} \cdot \mathbf{Pr} \dots \dots \dots (\mathbf{II.14})$$

Où:

T_s La température de la paroi[°C].

T_∞ :La température du fluide loin de la paroi[°C].

ν:La viscosité cinématique du fluide [$m^{-2}s^{-1}$].

α : La diffusivité thermique $\frac{K}{\rho c_p}$ [$m^{-2}s^{-1}$].

II.1.4.6 Nombre de Richardson:

Le nombre de Richardson est défini comme le rapport entre le nombre de Grashof sur le carré du nombre de Reynolds, Il peut être exprimé comme.

$$Ri = \frac{Gr}{Re^2} \dots\dots\dots(II.15)$$

$$Ri = \frac{g \cdot \beta \cdot \Delta T \cdot L}{U^2} \dots\dots\dots(II.16)$$

Si : **Ri** < 0.1 c'est la convection forcée qui domine.

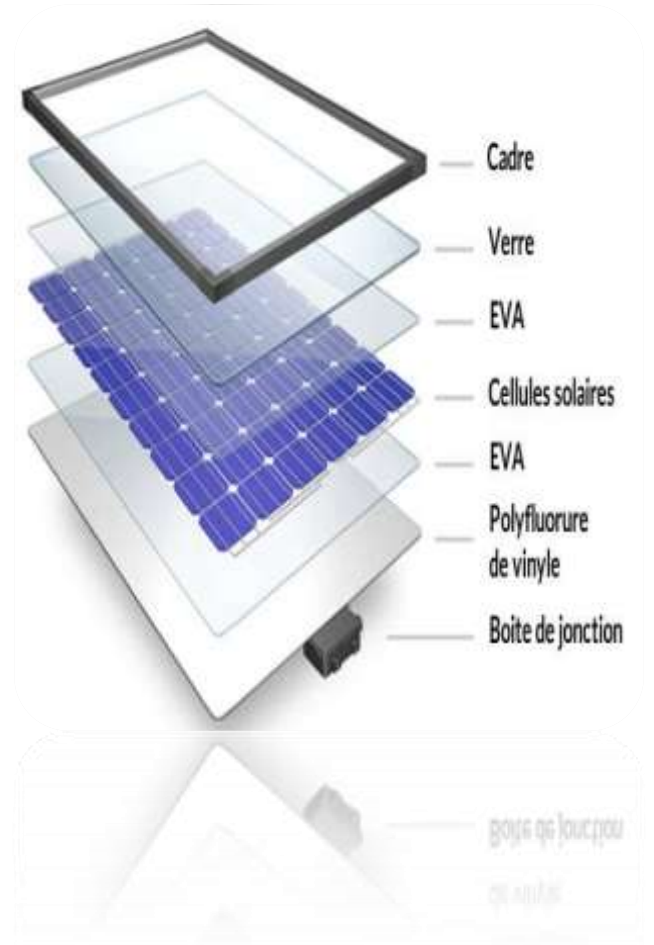
Si : **Ri** > 10 c'est la convection naturelle qui domine.

Si : 0.1 < **Ri** < 10 c'est le domaine de la convection mixte (naturelle et forcée)

II.2. La géométrie du problème étudié :

Le module PV simulé au cours de cette étude est un module de type monocristallin d'une puissance de 70W. Il se compose de 36 cellules PV, 9 cellules le long de la longueur du panneau et 4 cellules selon le sens de la largeur du panneau PV (Figure II. 6). Chaque cellule se présente comme un carré de dimension 123 mmx123 mm. La distance entre chaque cellule et la cellule voisine est de 2 mm. Les caractéristiques électriques du panneau PV sont regroupées dans le Tableau II.1a.

Chaque cellule se compose de sept couches (Figure II.1b) nommées comme suit de haut en bas : le verre, une première couche de la résine Ethylène-Vinyl Acétate EVA1, la cellule PV, une deuxième couche de la résine Ethylène-Vinyl Acétate EVA2, Backsheet (PET), Ruban adhésif (Tape) et le support carbone fibre composite polymère (CFRP). Les dimensions et les propriétés thermo-physiques de chaque couche sont regroupées dans le Tableau II.2. De même, les propriétés optiques sont regroupées dans le Tableau II.3.



a : Vue d'ensemble du panneau PV

b : La composition de chaque cellule

Figure II.4: Le panneau PV utilisé durant notre étude .

Tableau II.1 : Caractéristiques électriques du module photovoltaïque [Web7].

Caractéristique	Valeur
Tension en circuit ouvert (Voc)	22.10(V)
Tension de fonctionnement optimale (Vmp)	18.70(V)
Courant de court-circuit(Isc)	4.25(A)
Courant de fonctionnement optimal (Imp)	3.47(A)
Puissance maximale a STC (Pmax)	70(W)
Efficacité des modules	21.4%
Tension maximale du système	500 V DC
Température de fonctionnement	-40c°a +80c°
Tolérance de puissance	0/+3%

Tableau II.2 : Les dimensions et les caractéristiques thermophysiques de chaque couche composant le panneau PV [2.1]

Matériel	Absorptivité	Transmissivité	Réfectivité
ETFE	0.1	0.83	0.07
EVA	0	1	0
SI	0.97	0	0.03

Tableau II.3 : Les propriétés optiques de chaque couche composant le panneau PV [2.1].

La couche	La densité (kg/m ³)	La conductivité thermique [w/(mk)]	La capacité thermique spécifique [(j/kgk)]	L'Épaisseur (mm)
ETFE	1730	0.24	1172	0.28
EVA	945	0.35	2090	0.20
Silicon	2330	148	700	0.15
PET	1350	0.275	1275	0.20
CFRP	1490	6.83	1130	0.13
Tape	1012	0.19	2000	2.00

Afin de faciliter notre étude sur le comportement thermique du panneau PV et d'établir un modèle mathématique simple qui décrit la physique du problème, on propose les hypothèses simplificatrices suivantes[21] :

- Toutes les propriétés des matériaux utilisées sont supposées isotropes et indépendantes de la température.
- La réflectivité des différents matériaux est considérée comme significative pour l'analyse. L'irradiation solaire qui n'est réfléchi sur aucune surface est entièrement transmise à la couche située en dessous.
- La transmissivité de l'EVA est considérée comme étant l'unité.
- La réflexion interne entre l'EVA supérieur et les cellules solaires est prise en compte ainsi que d'autres les réflexions entre les couches sont négligeables.
- La partie du rayonnement solaire qui n'est ni réfléchi par la cellule ni convertie en électricité est convertie en énergie thermique.
- La température ambiante est égale sur toutes les zones exposées à l'environnement.

II.3. Modèle mathématique thermique des composants d'un PV:

L'énergie provenant du rayonnement solaire incident sur le panneau photovoltaïque est convertie sous forme d'énergie électrique (énergie générée) en plus des pertes qui englobent les pertes optiques et les pertes thermiques. Comme illustré sur la Figure II.7, le processus de transfert de chaleur, y compris la convection et le rayonnement en haut et en bas du panneau PV vers l'environnement extérieur

constitue les pertes thermiques globales. De même, le rayonnement réfléchi par la première couche (verre) représente les pertes optiques majeures. De plus, la puissance générée est également incluse dans le bilan énergétique du module PV, comme cela sera illustré dans le chapitre 3.

Le modèle théorique sert à calculer la distribution de température dans les différentes couches du panneau PV en se basant sur la distribution du flux de la chaleur dans les différentes couches du capteur solaire. Une coupe transversale du panneau PV est illustrée sur son schéma électrique équivalent (Figure II.8) où figurent les énergies absorbées ou produites par le panneau.[22]

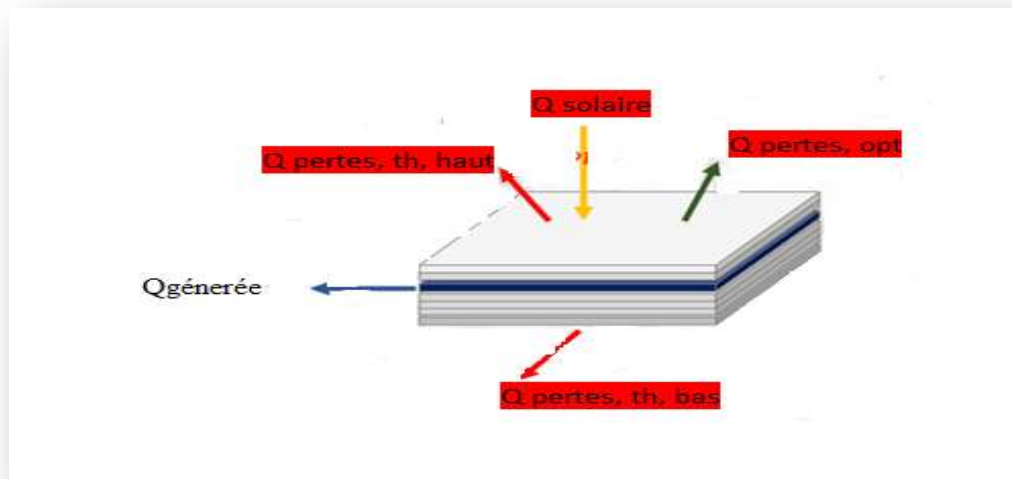


Figure II.5: Les transformations de chaleur dans un panneau PV.

II.4. Bilan énergétique d'un panneau PV :

Le but de notre étude est de déterminer les températures dans chaque couche du capteur PV en fonction des conditions environnementales ; les radiations solaires, la température ambiante et la vitesse du vent.

Pour cela on utilise le principe de conservation de l'énergie pour le système comme illustré sur la Figure II.7 et qui peut être présenté par une équation de bilan d'énergie suivante :

$$Q_{generée} = Q_{solair} - (Q_{pertes,th,haut} + Q_{pertes,th,bas} + Q_{pertes,opt}) \dots\dots\dots(II.17)$$

Ou :

$Q_{généree}$: C'est l'énergie électrique générée par le panneau PV ;

$Q_{pertes, th, haut}$: C'est les pertes thermiques en haut du panneau PV ;

$Q_{pertes, th, bas}$: C'est les pertes thermiques en bas du panneau PV ;

- **Les pertes optiques ($Q_{pertes, opt}$) :**

La réflectivité de la couche du verre (r_{verre}) est le principal contributeur à la perte de chaleur optique car son impact a pour effet de renvoyer une partie du rayonnement solaire incident vers l'environnement. Ce type de perte peut être calculé à l'aide de la relation suivante :

$$Q_{pertes,opt} = r_{verre} Q_{solair} \dots \dots \dots (II.18)$$

- **Les pertes thermiques à la surface supérieure ($Q_{pertes,th,haut}$) :**

Les pertes par convection et par rayonnement sont les deux types de pertes thermiques qui existent sur la surface supérieure du panneau photovoltaïque. Ces pertes découlent de la surface du verre qui reçoit le flux focalisé. Les pertes par convection sont une combinaison de phénomènes libres (naturels) et forcés convection. Il existe également une perte de rayonnement thermique entre la couche de verre et l'environnement. Ces pertes s'expriment par l'équation suivante [2] :

$$Q_{pertes,haut} = Q_{conv,forc,haut} + Q_{conv,natu,haut} + Q_{ray,haut} \dots \dots \dots (II.19)$$

Le coefficient de convection forcée en haut du panneau PV peut être estimé par la corrélation suivante [2] :

$$Nu_{F,h} = \frac{h_{F,h}L}{k} = 0.13 Re_L^{0.703} (1 + \sin \beta)^{0.38} \dots \dots \dots (II.20)$$

Avec :

$Nu_{F,h}$: le nombre de Nusselt qui correspond à la convection forcée en haut du panneau PV ;

L : la longueur de panneau PV ;

k : La conductivité thermique de l'air en haut du panneau PV ;

Re : le nombre de Reynolds ;

B : l'angle d'inclinaison du panneau PV.

De même, le coefficient de convection naturelle peut être obtenu à partir de la corrélation suivante [2] :

$$Nu_{N,h} = \frac{h_{N,h}L}{k} = 0.7386Ra_L^{0.1826}(1 + \cos \beta)^{-0.4575} \quad \beta \leq 45 \dots \dots \dots (II.21)$$

$$= 5.4412Ra_L^{0.1102}(1 + \sin \beta)^{-0.085} \quad \dots \quad \beta > 45 \dots \dots \dots (II.22)$$

Avec :

$Nu_{N,h}$: le nombre de Nusselt qui correspond à la convection naturelle en haut du panneau PV ;

L : la longueur de panneau PV ;

k : La conductivité thermique de l'air en haut du panneau PV ;

Re : le nombre de Reynolds ;

B : l'angle d'inclinaison du panneau PV.

Par conséquent, le coefficient de convection mixte est donné suivant de la formule suivante [2] :

$$Nu_{M,t}^3 = Nu_{F,h}^3 + Nu_{N,h}^3$$

• **Les pertes thermiques à la surface inférieure (Q pertes ,th ,bas) :**

Les pertes thermiques de la surface inférieure peuvent être exprimées en utilisant la même relation que celle donnée pour la surface supérieure surface.

$$Q_{pertes,bas} = Q_{conv,forc,bas} + Q_{conv,natu,bsa} + Q_{ray,bas}$$

Le coefficient de convection forcée en bas peut être estimé à partir de la corrélation suivante [2] :

$$Nu_{F,b} = h_{F,h} \left(\frac{90^\circ - \beta}{90^\circ} \right) \dots \dots \dots (II.23)$$

Et le coefficient de convection naturelle en bas peut être obtenu à partir de la corrélation suivante [2] :

$$Nu_{N,b} = \frac{h_{N,b}L}{k} = 0.27Ra_L^{0.25} \quad \beta = 0 \dots \dots \dots (II.24)$$

$$= 0.7386Ra_L^{0.1826}(1 + \cos \beta)^{-0.4575} \quad 0 < \beta \leq 45 \dots \dots \dots (II.25)$$

$$= 5.4412Ra_L^{0.1102}(1 + \cos \beta)^{-0.085} \quad \beta > 45 \dots \dots \dots (II.26)$$

Par conséquent, le coefficient de convection mixte est exprimé par la formule suivante [2]

$$Nu_{M,b}^3 = Nu_{F,b}^3 + Nu_{N,b}^3 \dots \dots \dots (II.27)$$

Conclusion :

Nous avons présenté dans ce chapitre la modélisation mathématique d'un panneau PV; Nous avons commencé par les caractéristiques du panneau PV, ensuite le modèle physique et les équations régissant le comportement thermique d'un module photovoltaïque.

Ces équations permettent la détermination de la distribution de température dans les différentes couches du panneau PV selon les différents conditions ; les radiations solaires, la température ambiante et la vitesse du vent.

chapitre03:

Formulation numérique

III.1. Introduction :

Les panneaux photovoltaïques sont l'une des technologies les plus importantes utilisées pour produire une énergie propre et durable. Cette technologie repose sur la conversion de l'énergie solaire en énergie électrique grâce à l'utilisation de cellules solaires constituées de matériaux semi-conducteurs.

La simulation numérique du panneau photovoltaïque en utilisant le logiciel ANSYS, est une étape essentielle pour l'étude de l'évolution de température dans un panneau photovoltaïque en fonction des conditions climatiques : les radiations solaires, la température ambiante et la vitesse du vent. Ce chapitre vise à expliquer comment utiliser le logiciel ANSYS pour modéliser numériquement un panneau PV, notamment en effectuant la géométrie du panneau PV, les caractéristiques des matériaux des différentes couches constituant le panneau PV, le maillage, les conditions aux limites.

III.2. Procédure de la simulation :

III.2.1 Logiciel ANSYS Workbench :

Le logiciel Ansys Workbench version 19.2 (Figure III.1) est un logiciel de simulation numérique très puissant, il permet de gérer les fichiers et le lancement des différents logiciels à partir d'une fenêtre unique. C'est le logiciel que nous avons adapté durant notre étude. Le menu principal du logiciel Ansys Workbench est illustré sur la Figure III.2.



Figure III.1 : La fenêtre lancement du logiciel.

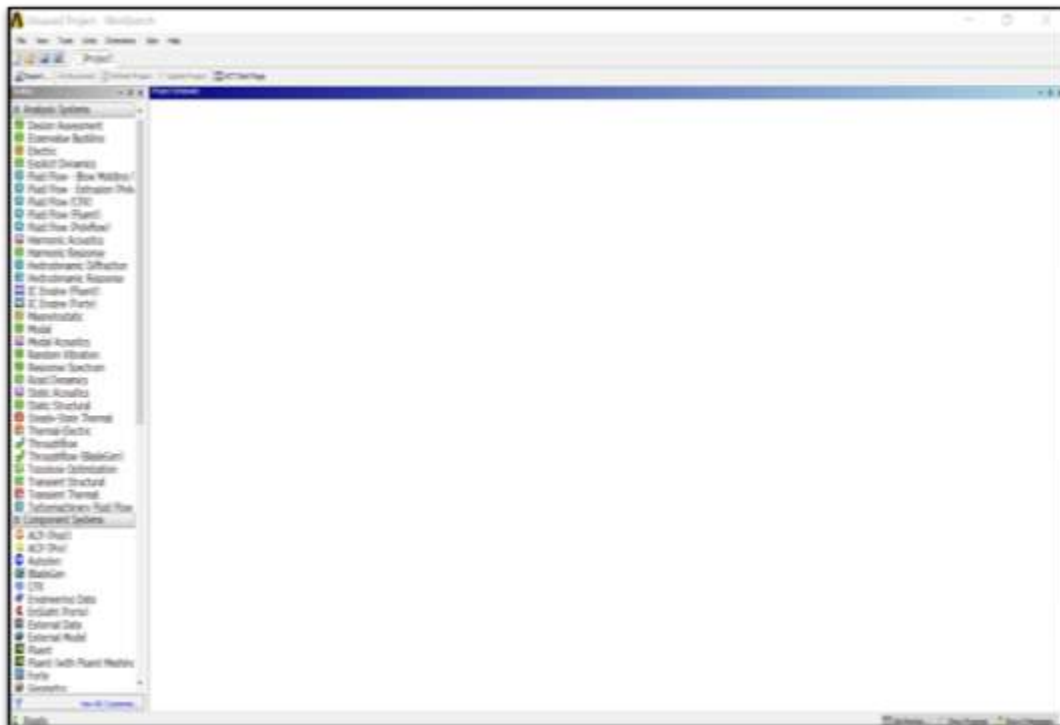


Figure III.2 : Le menu principal de Workbench.

La barre d'outils donne accès à plusieurs types d'analyse, dans notre cas, on commence à glisser la Géométrie comme illustré sur le schéma de projet (Figure III.3),ensuite, nous introduisons cette géométrie dans l'analyse thermique stationnaire.



Figure III.3 : Création de la géométrie en analyse thermique.

Les étapes de calcul s'étalent sur cinq (5) étapes réparties comme suit :

- 1. Géométrie** : C'est la première étape dans la simulation, elle permet de créer ou de modifier ou de mettre à jour un modèle. Elle peut même importer un modèle qui peut être utilisé pour l'analyse.
- 2. Maillage** : C'est la deuxième étape, il est lié à la définition de la géométrie, aux systèmes de coordonnées et au réseau de communication dans le module de simulation mécanique, De même, il permet de déclarer quelques propriétés physiques de certains matériaux.
- 3. Configuration** : C'est la troisième étape dans la simulation numérique, elle permet de définir les charges, les conditions aux limites pour l'analyse.
- 4. Solution** : Durant cette étape, on peut accéder aux données de résolution.
- 5. Résultats** : C'est la dernière étape dans la simulation numérique, elle combine les résultats de l'analyse.

III.2.2 Création de la géométrie : Un double-clic sur la géométrie dans le logiciel ANSYS Workbench pour ouvrir le module de création géométrique « Design Modeler » comme illustré sur la Figure III.4.

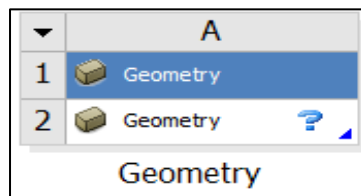



Figure III.4 : Création d'un projet en Géométrie .

Après l'ouverture du module de création une géométrie, nous sélectionnons à partir de la liste du « Unités » le millimètre (mm) comme unité de dimension. Par la suite, On choisit le plan et la vue sur laquelle on va travailler. En cliquant sur le plan ZX, et sur  dans la barre d'outils comme indiqué sur la Figure III.5.

Pour dessiner la géométrie étudiée on clique sur la boîte à outils esquisse comme illustré sur la Figure III.6. Elle va permettre de créer la géométrie et d'ajouter les dimensions et les contraintes.

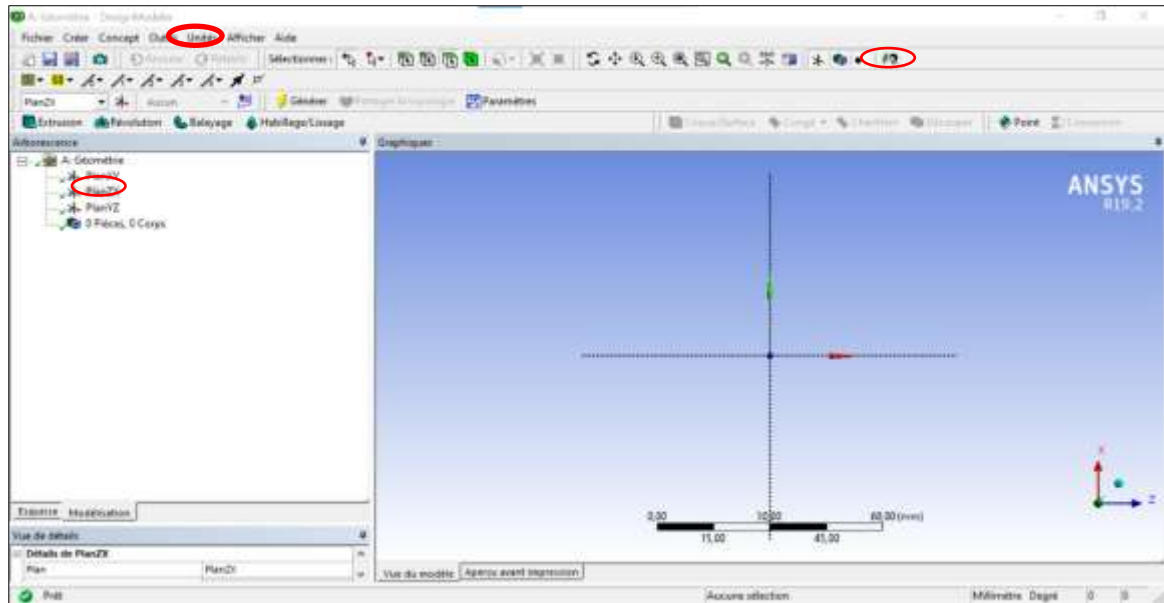


Figure III.5 : Création d'un modèle (plan de vue).

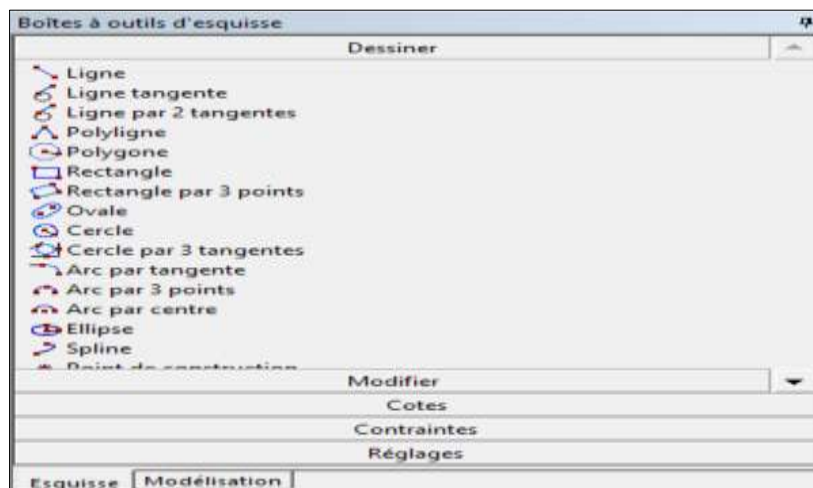



Figure III.6 : Création d'esquisse.

Dans la boîte à outils esquisse, on clique sur la forme du rectangle pour créer la première couche de cellule PV dans le plan que nous avons choisi, puis on sélectionne les cotes dans la géométrie comme indiqué sur la Figure III.7. Pour ajouter la commande dans la troisième dimension (Z), on clique sur  et ensuite la profondeur de la cellule PV.

On fait l'extrusion de cette couche de cellule PV dans la direction Z pour avoir 4 cellules dans cette direction comme illustré sur les Figures III.8 et III.9. En suite, on fait l'extrusion de ces 4 couches de cellules PV dans la direction X pour avoir toutes

les couches de cellules du panneau PV, c'est-à- dire les 36 cellules, en cliquant sur

 comme illustré sur la Figure III.10.

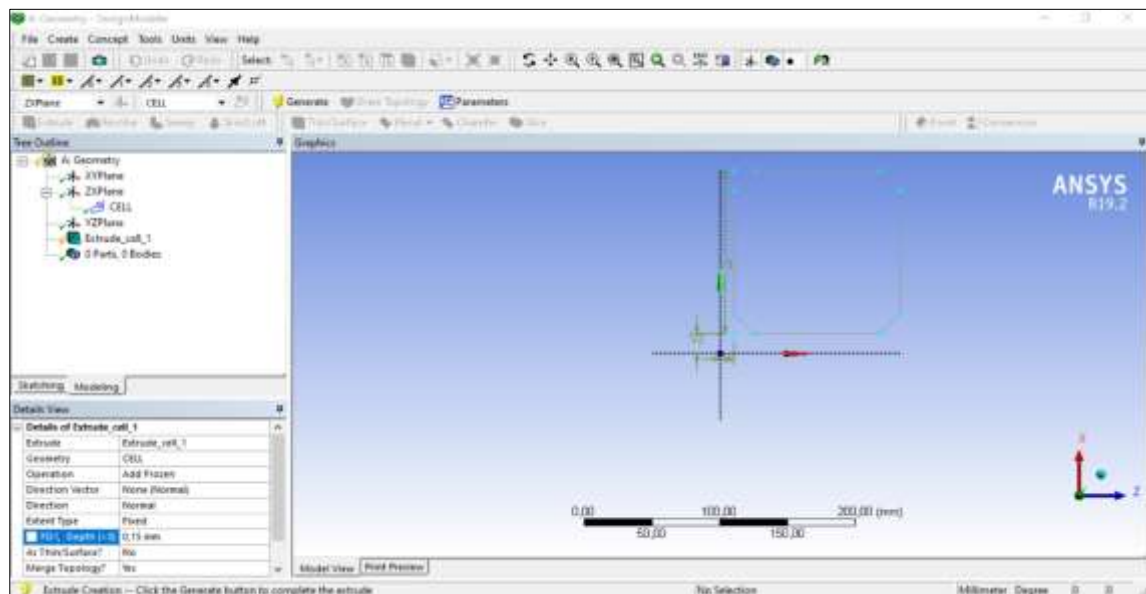


Figure III.7: Création d'esquisse et Définition des côtes.

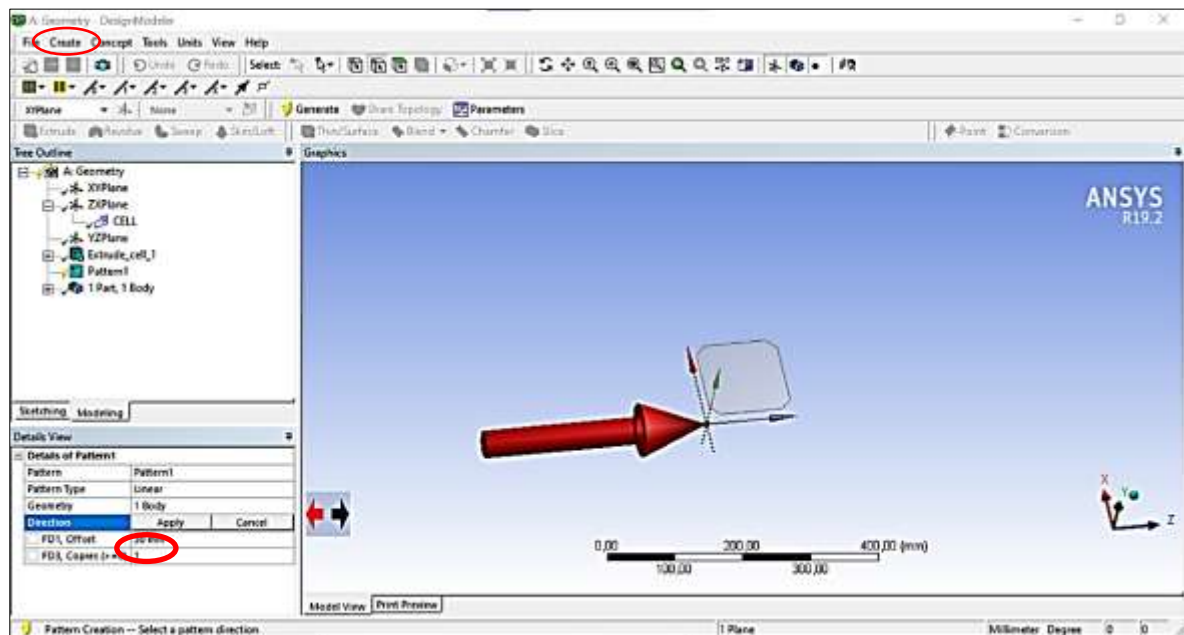




Figure III.8 : La direction de création des 4 cellules du panneau PV.

De cette façon on crée la première couche(Silicon cells) du panneau PV, on ajoute les autres couches en haut(EVA1, Verre (ETFE)) et en bas (EVA2, PRT, TAPE et CFRP)) selon les dimensions noté dans le chapitre II pour avoir tout le panneau PV avec toutes

ces couches. Pour réaliser cette étape, on clique sur  et  sur la surface supérieure(ou inférieure) du matériau créé précédemment, on ajoute une autre surface définissons l'épaisseur de cette plaque mais cette fois « Opérations » nous sélectionnerons « Ajouter un objet obscurci » pour ajouter un nouvel objet comme illustré sur les Figure III.11 et Figure III.12. Un fois terminé toutes ces couches comme illustré sur la Figure III.13, on passe à la création du cadre du panneau PV comme indiqué sur la Figure III.14. Une fois que la géométrie, il suffit de la sauvegarder et quitter Design modeler et nous revenons sous Workbench pour passer à l'étape de maillage.

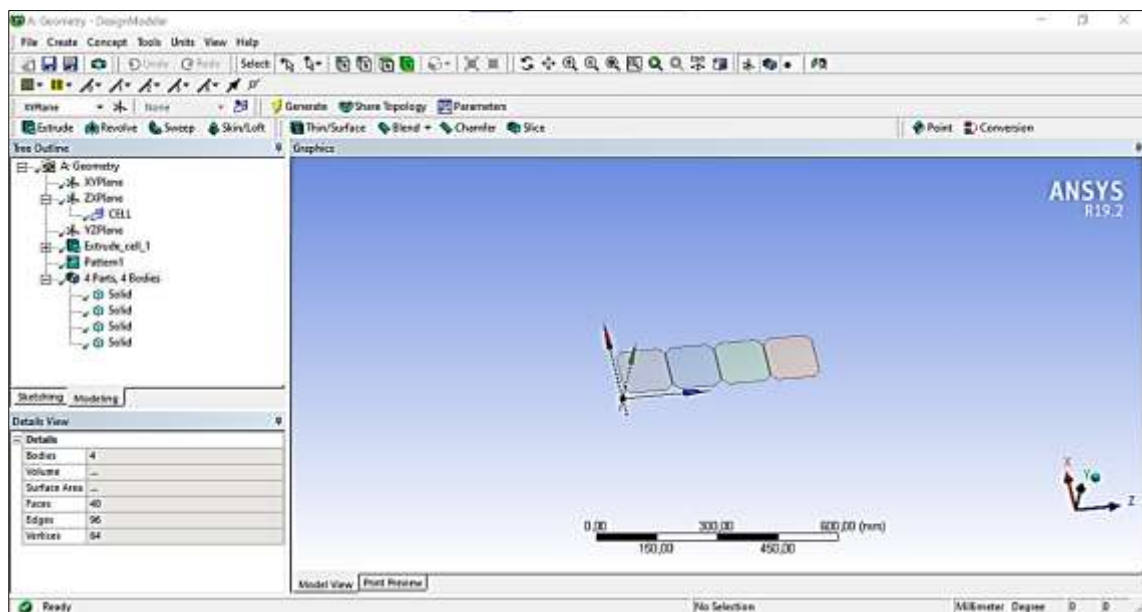


Figure III.9 :Créationdes4 cellules du panneau PV.

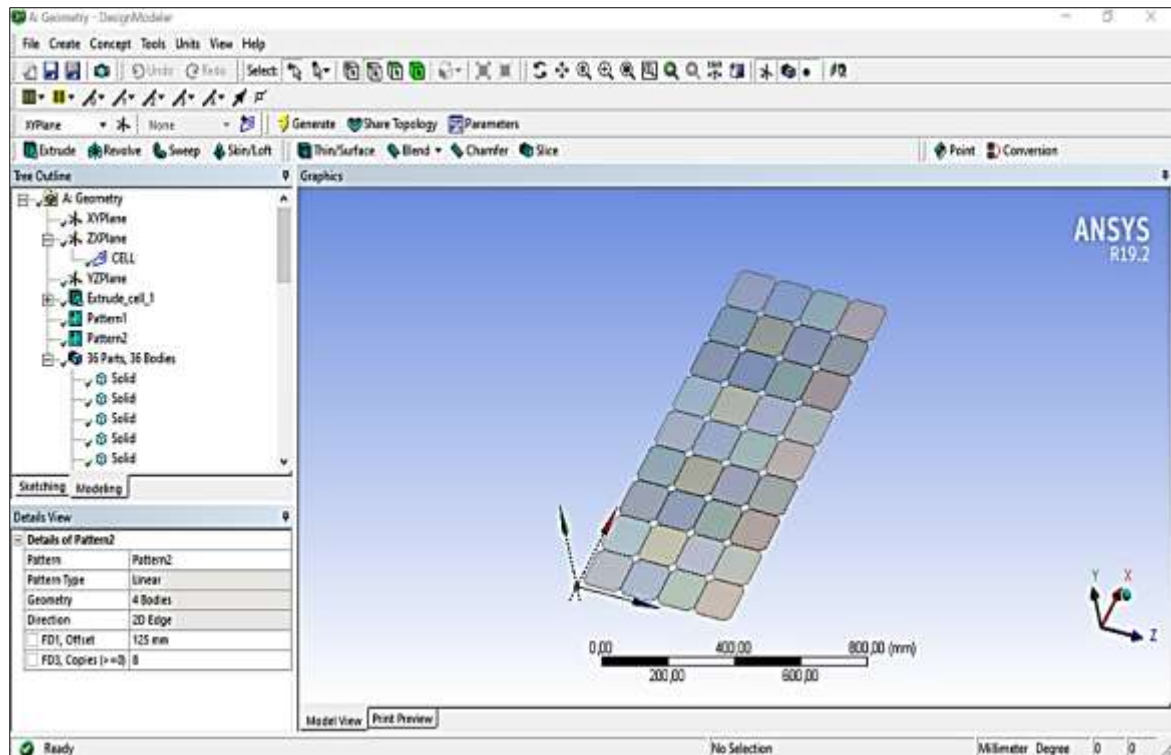


Figure III .10 : Création des36 cellules du panneau PV.

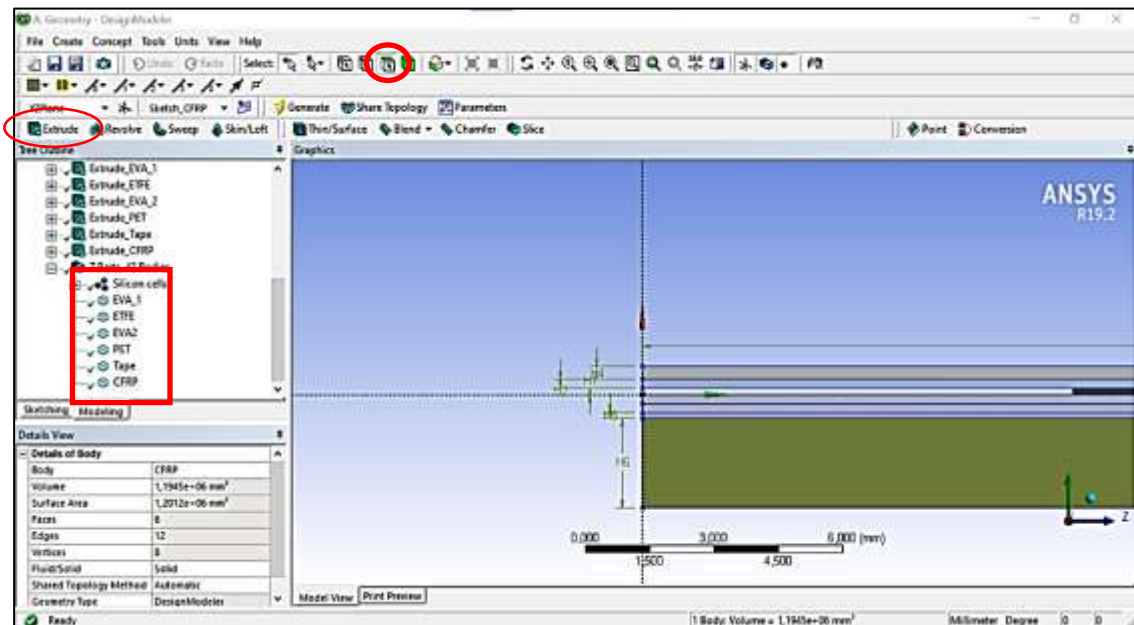


Figure III .11: La création de toutes les couches du panneau PV.

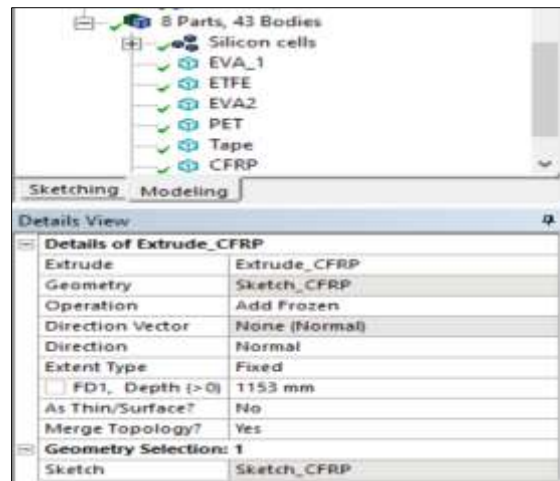


Figure III .12: Déclaration d'informations pour chaque couche du panneau PV.

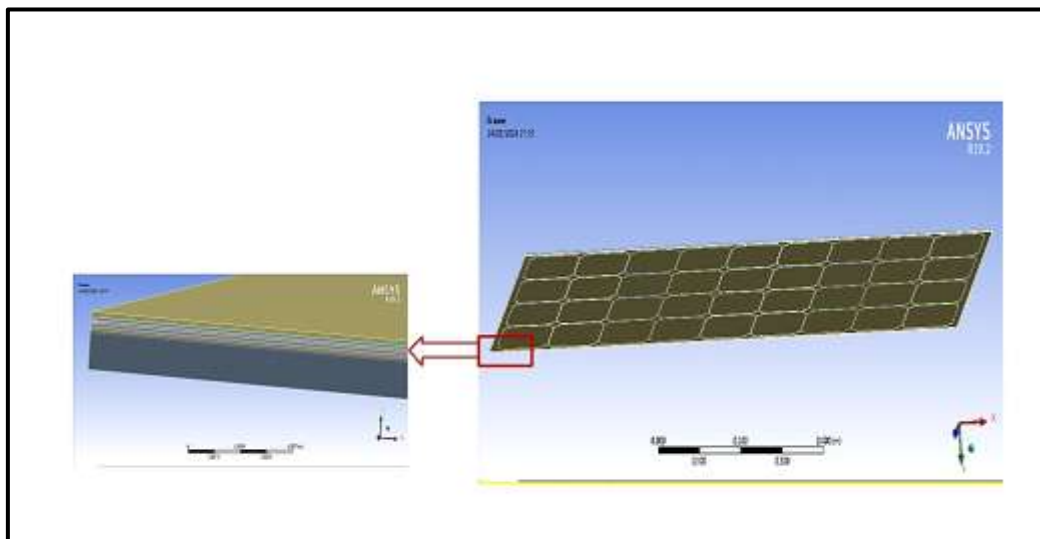


Figure III .13 : Les différentes couches du panneau photovoltaïque.

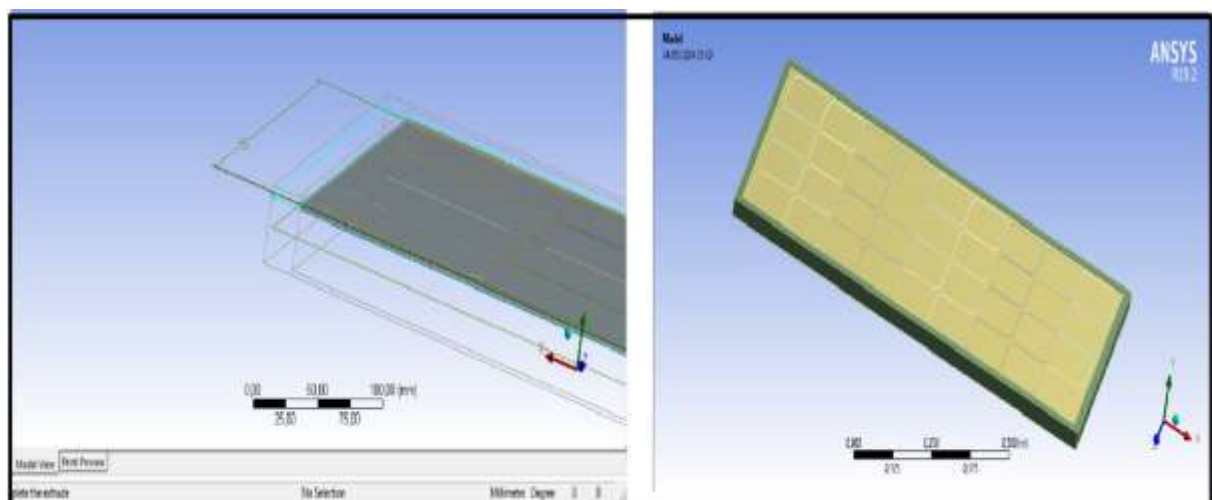


Figure III .14 : La création du cadre« Frame » dans le panneau PV.

III.2. 3 Données et matériaux :

Les Données et matériaux nécessaires pour les couches du panneau photovoltaïque :

Pour saisir les données et les matériaux du panneau photovoltaïque, nous double-cliquons sur les données d'ingénierie comme indiqué sur la figure(III .15 –III.16) ;

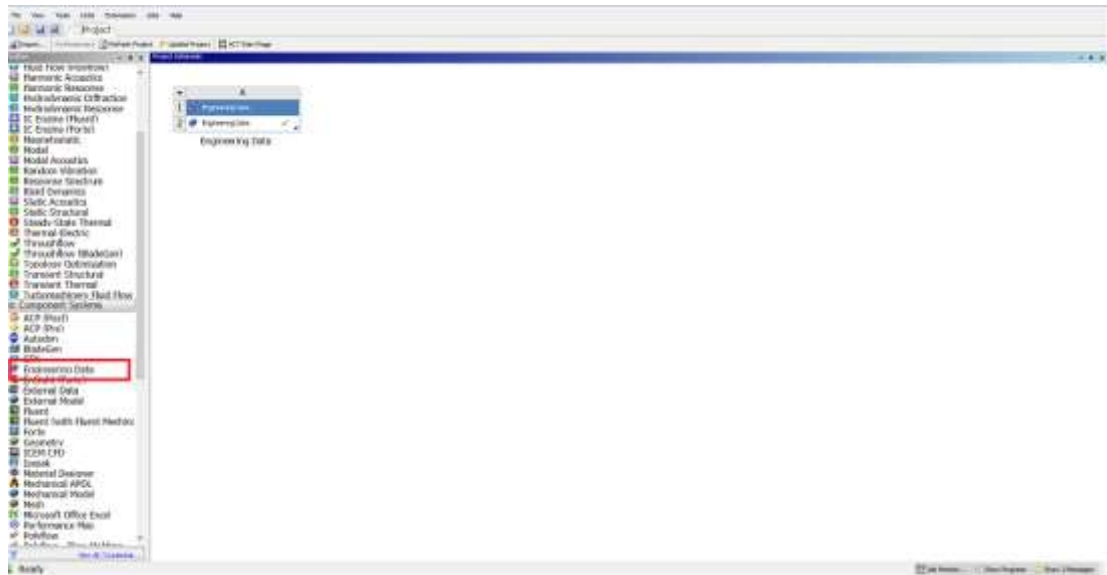


Figure III .15 :Fenêtre de données d'ingénierie dans un ANSYS.

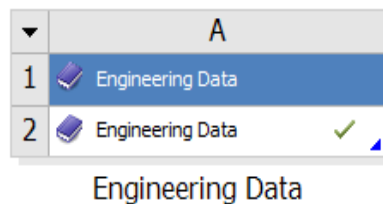


Figure III .16 :Fenêtre de données d'ingénierie.

Nous introduisons des propriétés physiques (densité) et thermiques (conductivité thermique isotrope - chaleur spécifique) pour chaque couche de panneau photovoltaïque comme indiqué dans la figure(III.17-III .18) :

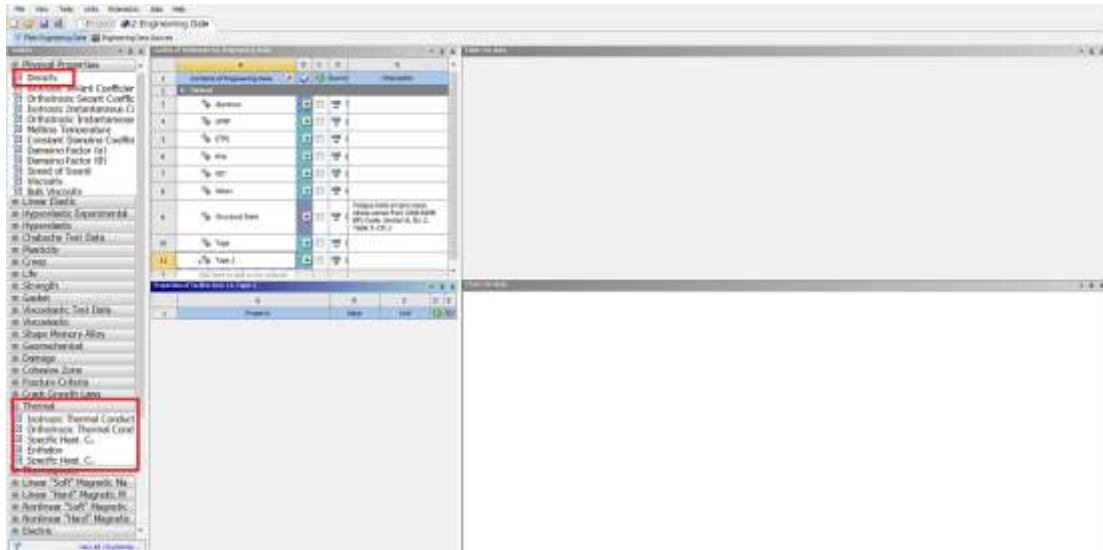


Figure III .17 :Introduction de cas physiques et thermiques dans la géométrie

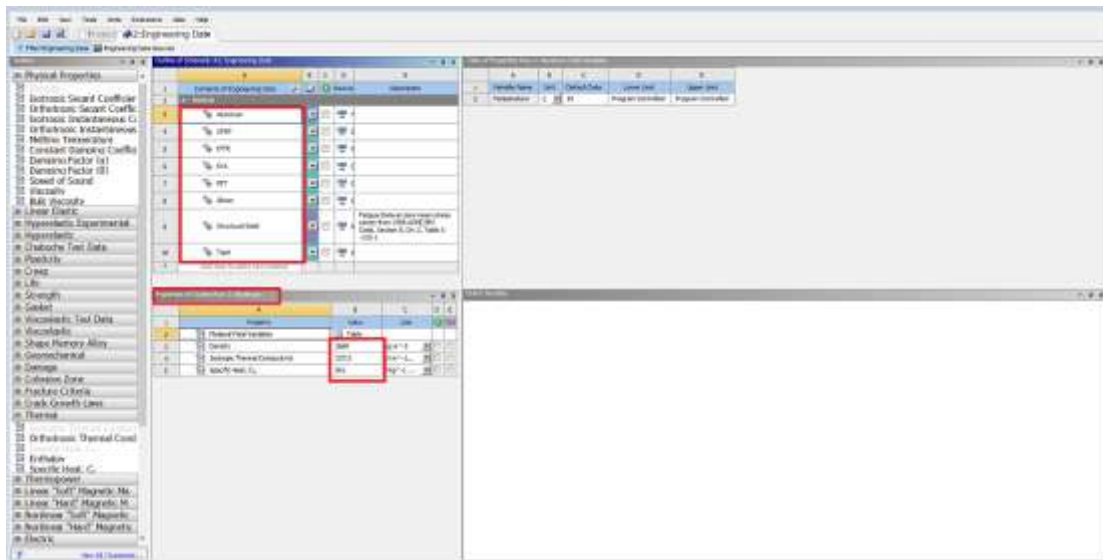


Figure III .18 :Fixation des valeurs physiques dans les matériaux

III.2.4 Le maillage :

Dans ANSYS Workbenche, un maillage est utilisé pour représenter la géométrie d'un système physique à simuler, comme une pièce mécanique, une structure, ou un composant électronique. La qualité du maillage est cruciale pour obtenir des résultats précis et fiables de la simulation. Un maillage bien conçu doit avoir une densité suffisante pour capturer les détails importants de la géométrie, tout en évitant d'être excessivement dense pour ne pas alourdir le calcul.

Tout d'abord, nous connectant la géométrie et ses données (définition des matériaux composant les différentes couches) dans l'état thermique permanent (Steady state) comme illustre la FigureIII.19.

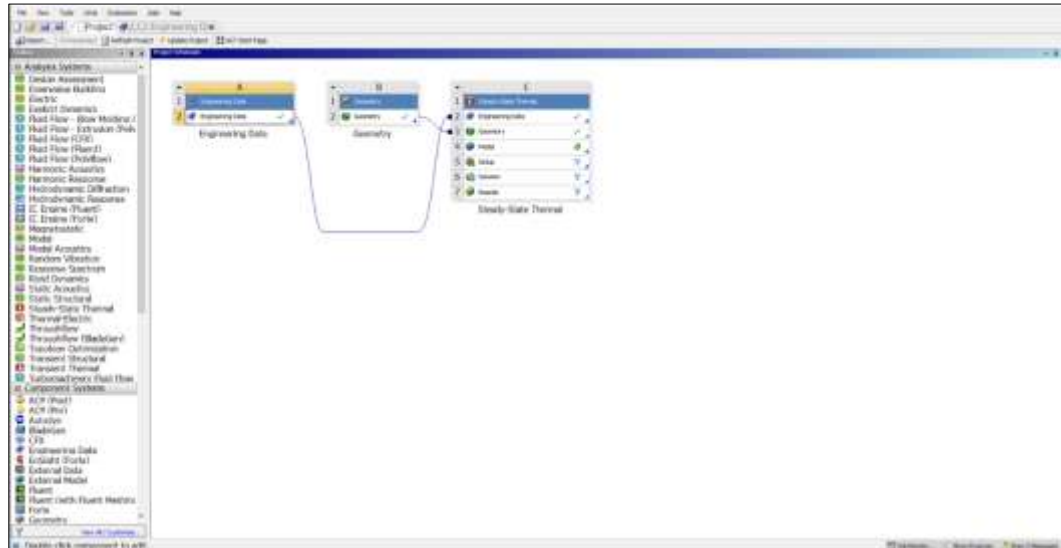


Figure III .19: Connexion de la géométrie dans une thermique stationnaire.

Dans l'étape de maillage, il y a deux points importants à considérer :


- La surnommation des éléments qui construit la géométrie pour réaliser cette dernière étape ; sélectionner une partie de la géométrie à l'aide de ces deux icones :



: Pour sélectionner les surfaces.



: Pour sélectionner les arêtes.

Après avoir ouvert le modèle  dans l'Ansys Workbench, on crée le contact entre les différentes couches composant le panneau PV comme illustré sur les Figures **III.20**, **III.21** et **III.22**.

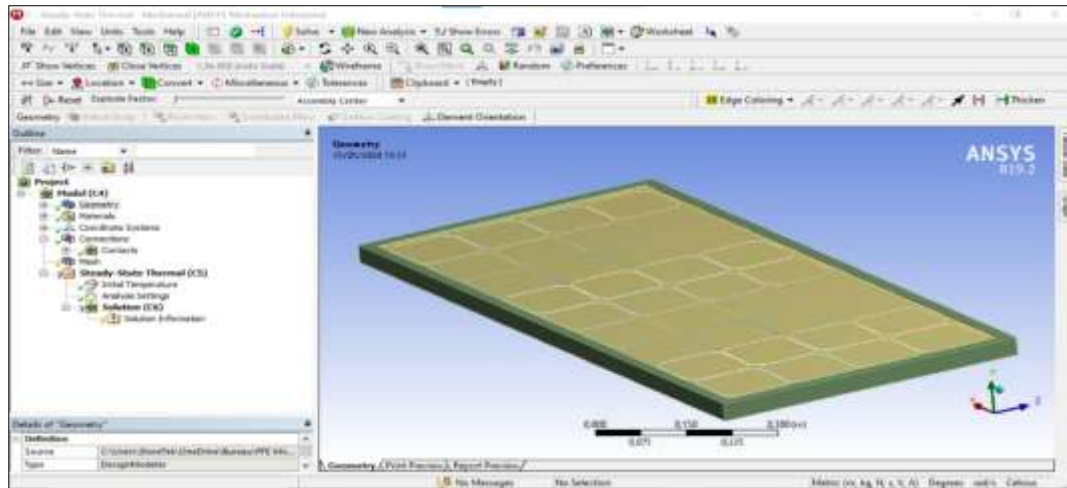


Figure III .20 :la geametrie dans steady state thermal.

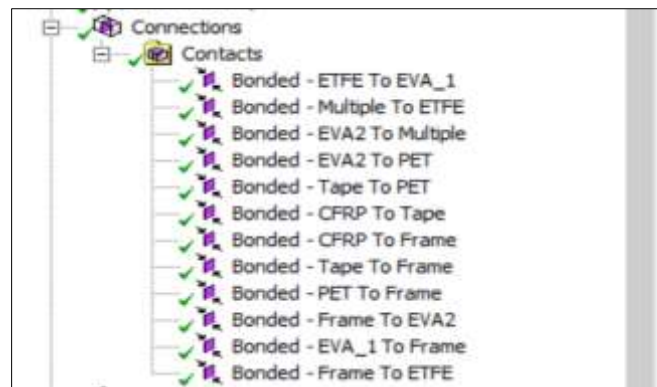


Figure III .21 : Les contacts entreles différentes couches du panneau PV.

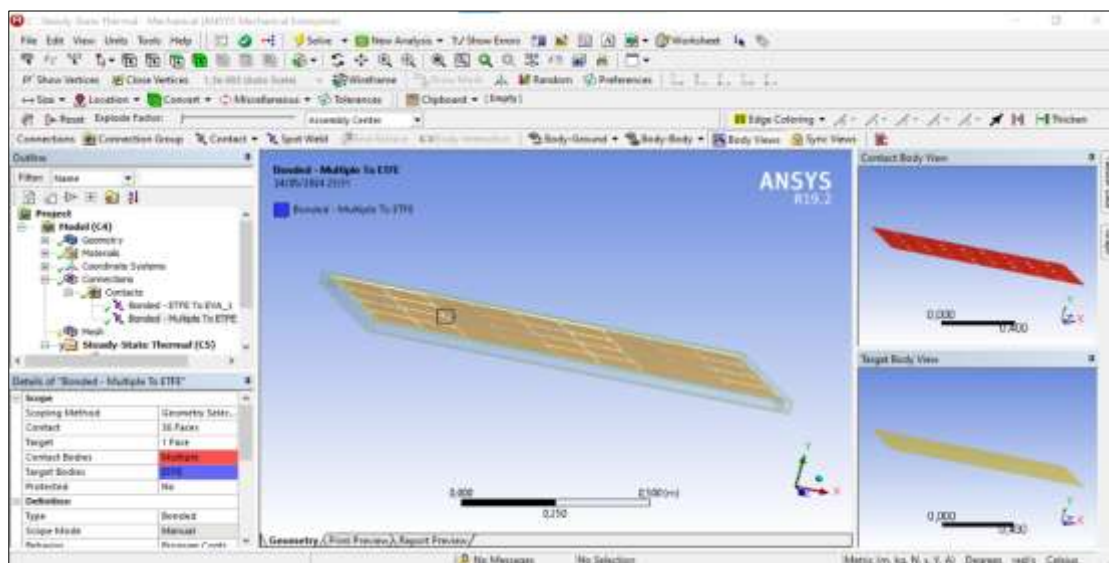
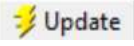


Figure III .22: Le processus de contact de deux couches d'un panneau PV

➤ Spécification de la méthode de Maillage pour réaliser cette dernière ; on doit sélectionner les éléments ==> on clic droit sur "maillage" ==> insertion ==> méthode ==> puis on choisi la méthode de maillage thermique dans Une fois terminé, En cliquant sur , et le nombre des élément de maillage (nodes =578782 et Eléments =90728) comme illustré sur les Figures III.23, III.24 et III.25.

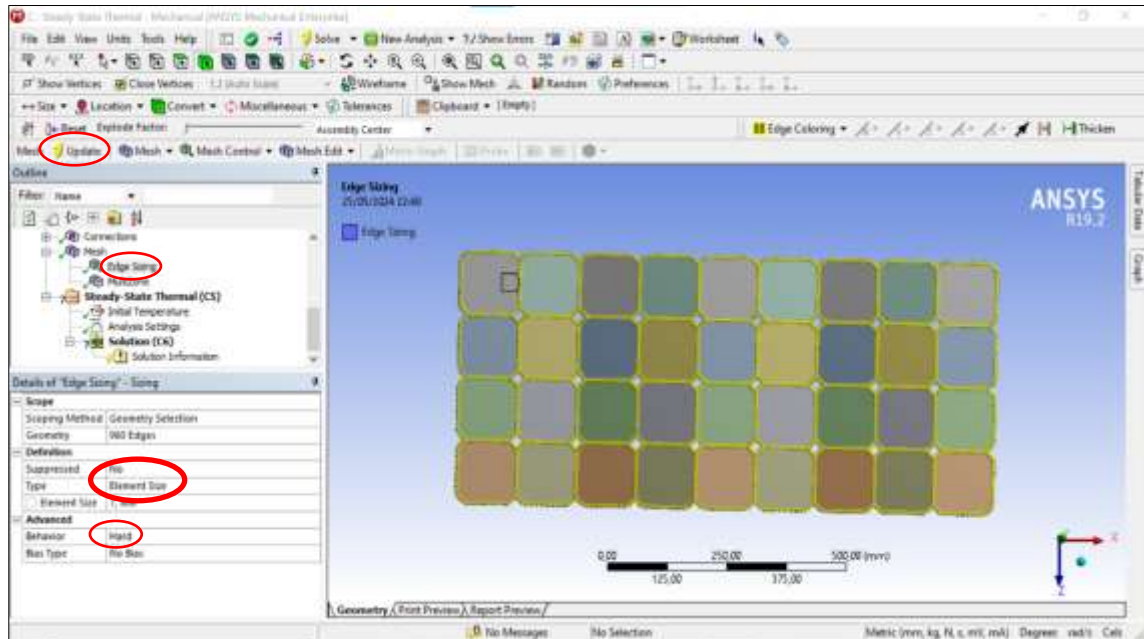


Figure III .23: Spécification de la méthode de Maillage.

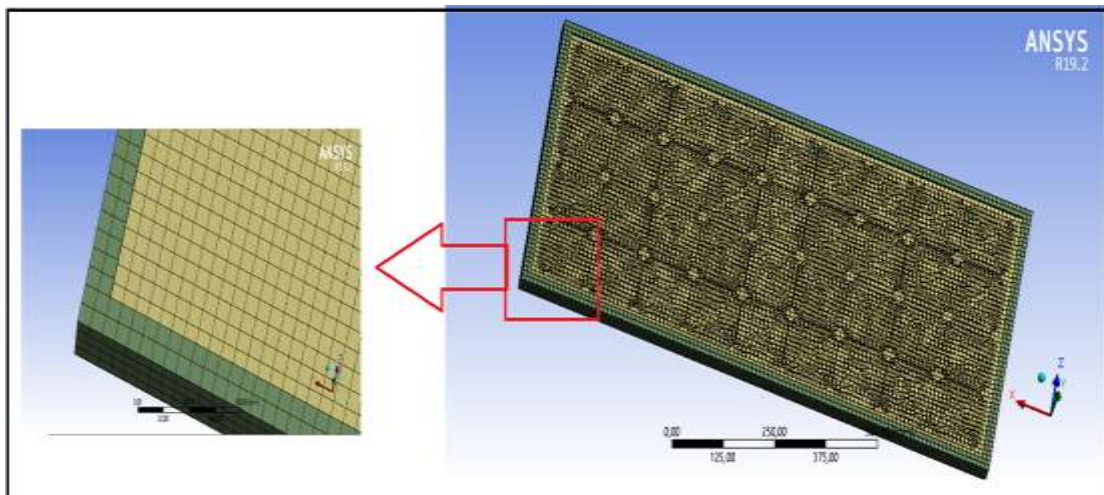


Figure III .24: Maillage du panneau PV.

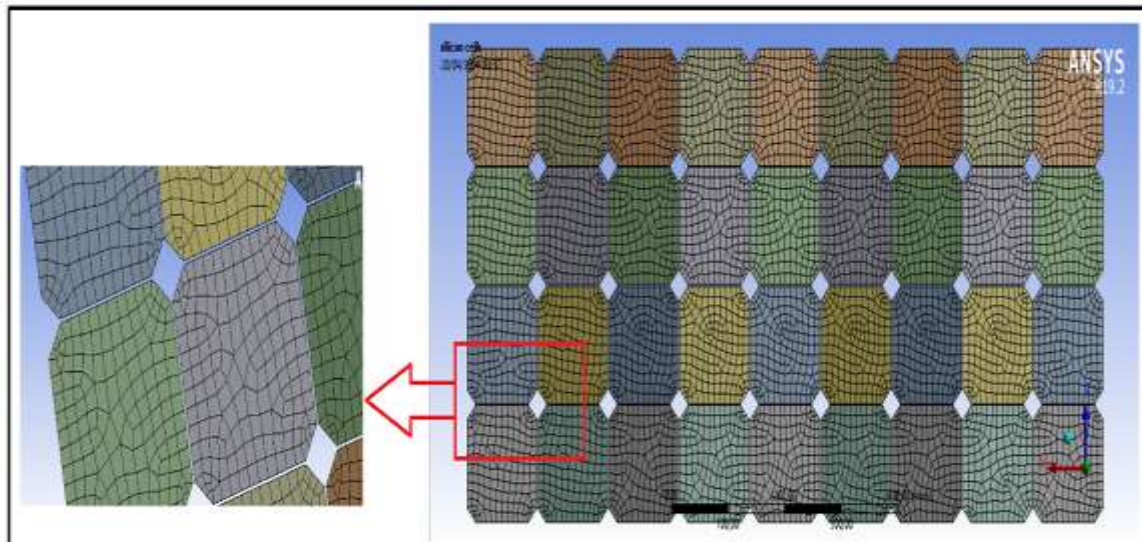


Figure III .25: Maillage de la couche Silicon cells.

III.2.5 Configuration :

Les conditions aux limites appropriées pour l'analyse de notre panneau PV regroupent ; la convection en haut du panneau PV ($7,94 W/m^2 \cdot ^\circ C$) la convection en bas du panneau PV ($7,95 W/m^2 \cdot ^\circ C$), le flux de chaleur sur la couche de verre ($100 W/m^2$), le flux de chaleur reçu par la couche de verre (ETFE) ($100 W/m^2$), le flux de chaleur reçu par la couche EVA1 ($25 W/m^2$) et le flux de chaleur cédé par la couche de la cellule PV (Silicon cells) $673 W/m^2$. Tous ces paramètres sont calculés selon les conditions climatiques : les radiations solaires ($1000 W/m^2$), la température ambiante ($25^\circ C$) et la vitesse du vent ($1 m/s$). Les détails de calcul de ces paramètres sont illustrés en ANNEX 1.

La configuration sous Ansys Workbench a été réalisée avec un double-clic sur la configuration dans la boîte **steady state thermal**. Durant cette étape, les conditions aux limites sélectionnées seront affichées comme illustré sur les Figures III.26 et III.27

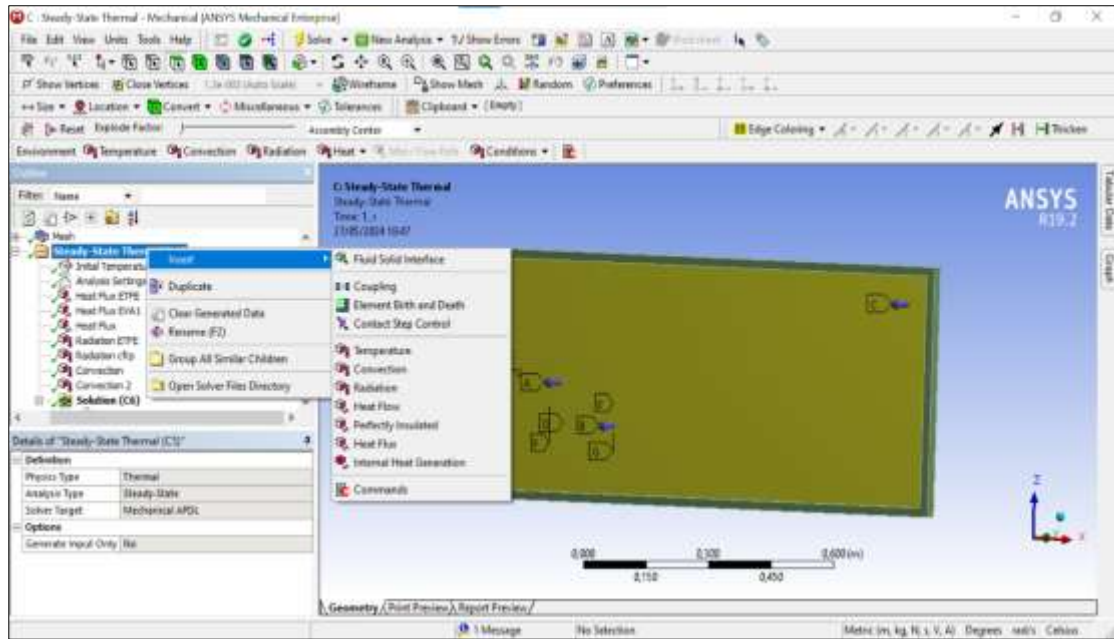


Figure III 26: Configuration d'une condition aux limites.

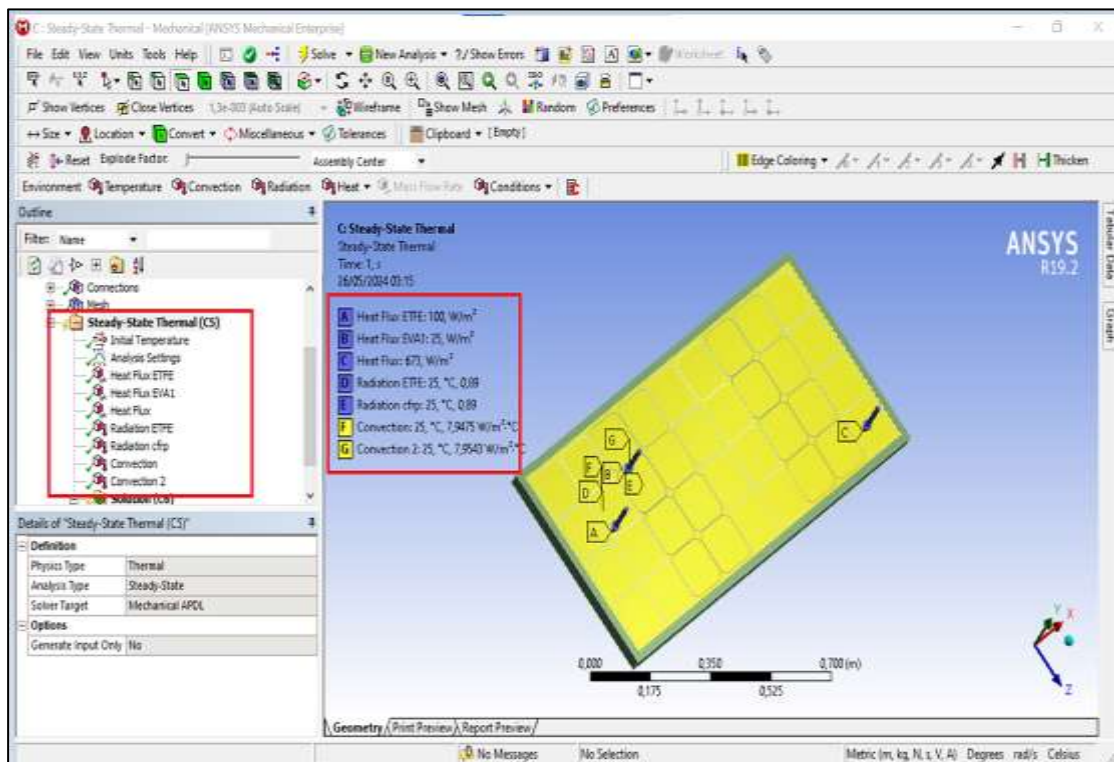


Figure III .27 : Configuration de toutes les conditions aux limites du panneau PV.

Conclusion

À travers ce chapitre, nous avons présenté les étapes de la simulation en détail d'un anneau PV en utilisant le logiciel de simulation Ansys workbench. Il s'agit de la géométrie du panneau PV, les caractéristiques des matériaux des différentes couches constituant le panneau PV, le maillage, les conditions aux limites. La solution et les résultats seront abordés dans le chapitre suivant.

Chapitre 04:
Resultats et discussions

Ce chapitre présente les résultats (et leur discussion) de la simulation du panneau photovoltaïque dont les caractéristiques sont décrites dans le chapitre II, en utilisant le logiciel ANSYS Workbench. Toutes les étapes de cette simulation sont présentées dans le chapitre II. Les résultats regroupent la validation de notre simulation, la distribution de température dans les différentes couches constituant le panneau PV (ETFE (verre), EVA1, Cellule, EVA2, PET, TAPE et CFRP), étude de l'effet des radiations solaires sur la distribution des températures dans un panneau PV et l'effet de la vitesse du vent sur la distribution des températures dans un panneau PV.

IV.1. Validation de notre simulation :

La validation de notre simulation a été effectuée dans les conditions de la température nominale de fonctionnement de la cellule (nominal operating cell temperature NOCT) qui implique une température ambiante de 293.15 K, des radiations solaires de 800 W/m² et une vitesse du vent de 1 m/s. Suivant les données du constructeur, la NOCT est 45±2°C. Les résultats de notre simulation dans ces conditions indiquent une température NOCT de 44,785°C comme illustré sur la Figure IV. 1. Ce qui justifie la validation de notre simulation numérique du panneau PV.

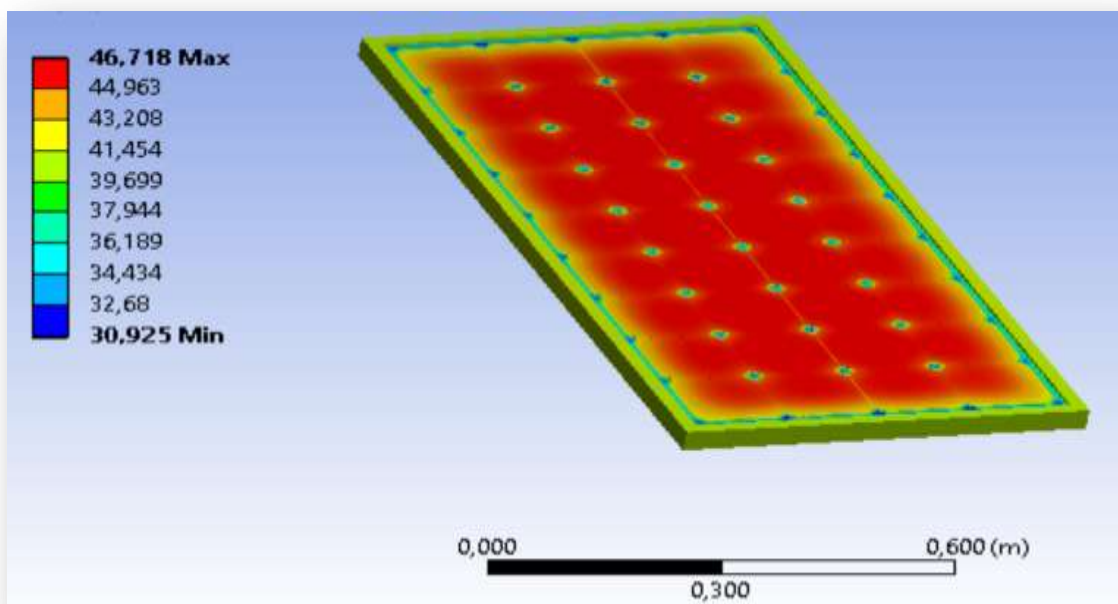


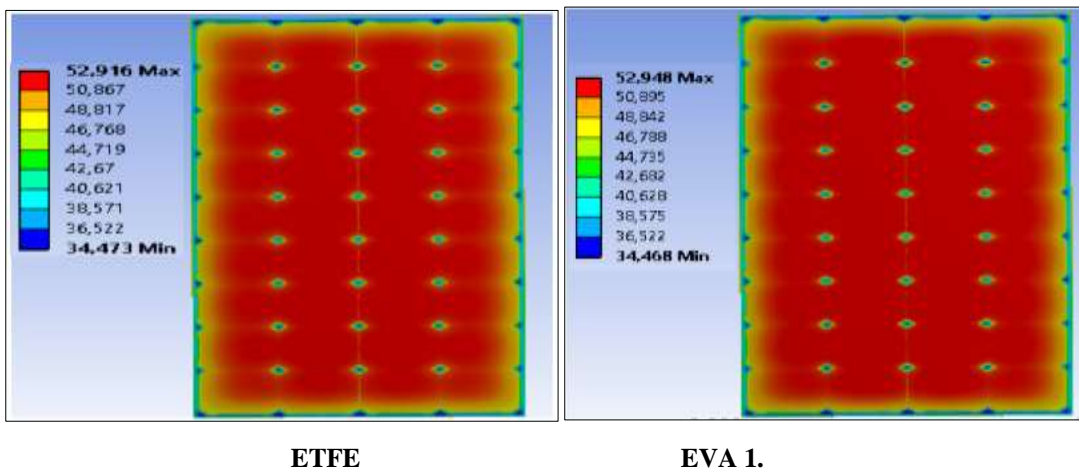
Figure IV.1: La distribution de température dans le panneau PV sous les conditions NOCT.

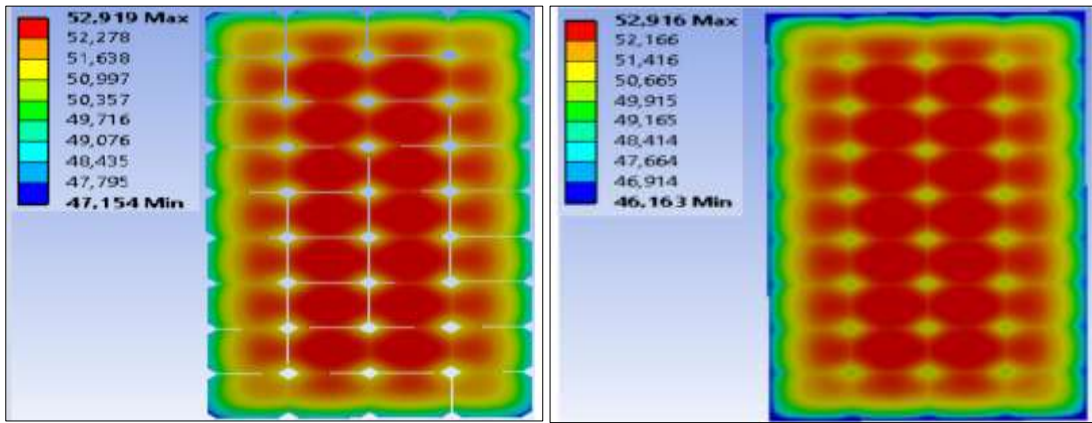
IV.2. Distribution des températures dans les différentes couches du panneau PV :

La Figure IV.2 illustre la distribution des températures dans les différentes couches (ETFE (verre), EVA1, la cellule PV, EVA2, PET, TAPE et CFRP) constituant le panneau PV dans les conditions de : $1000W/m^2$ pour les radiations solaires, 25 pour la température ambiante et 1 m/s pour la vitesse vent.

On constate que la distribution des températures dans le panneau PV varie d'une couche à une autre suivant les dimensions et les caractéristiques thermiques des couches constituant le panneau PV. La cellule PV prend les valeurs des températures les plus élevés qui varient entre 47,154 °C et 52,919°C avec une moyenne de 51.595°C. Cela est dû à sa génération de chaleur qui se traduit sous forme d'augmentation de la chaleur.

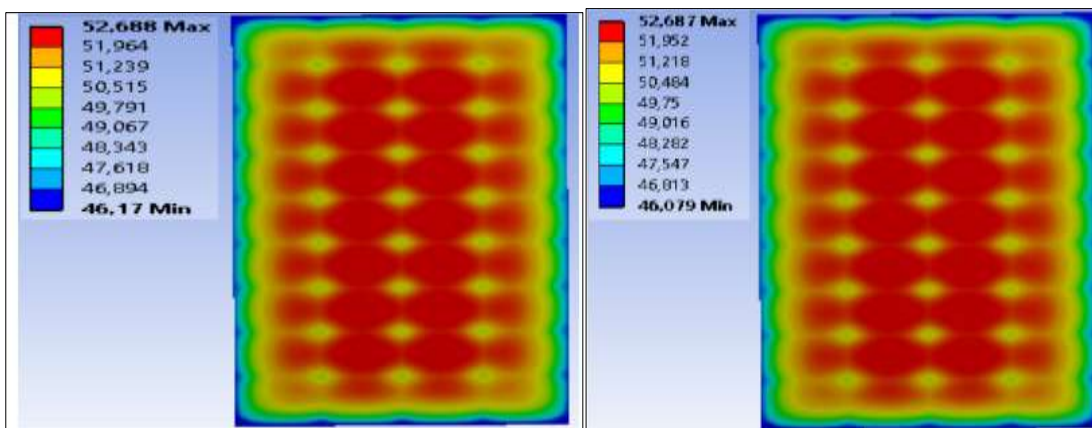
On note également que les températures en bas du panneau PV c-à-d-la dernière couche de CFRP (polymère renforcé de fibres de carbone) est plus élevées que les températures en haut du panneau PV première couche en ETFE (verre) comme illustré sur la Figure IV.4, qui indique la répartition des températures moyennes dans les différentes couches du panneau PV. La température moyenne de la couche CFRP est de 50,826 °C (46,013 °C- 52,416°C) et la température moyenne de la couche ETFE est de 50,633 °C (34,473°C -52,916°C).





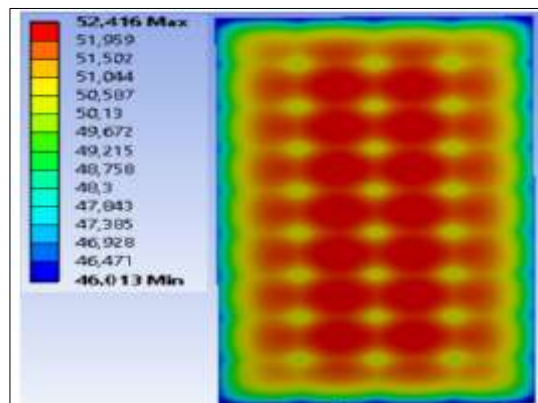
Cellule PV.

EVA2.



PET.

TAPE.



CFRP .

Figure IV .2 : La distribution des températures dans les différentes couches du panneau PV.

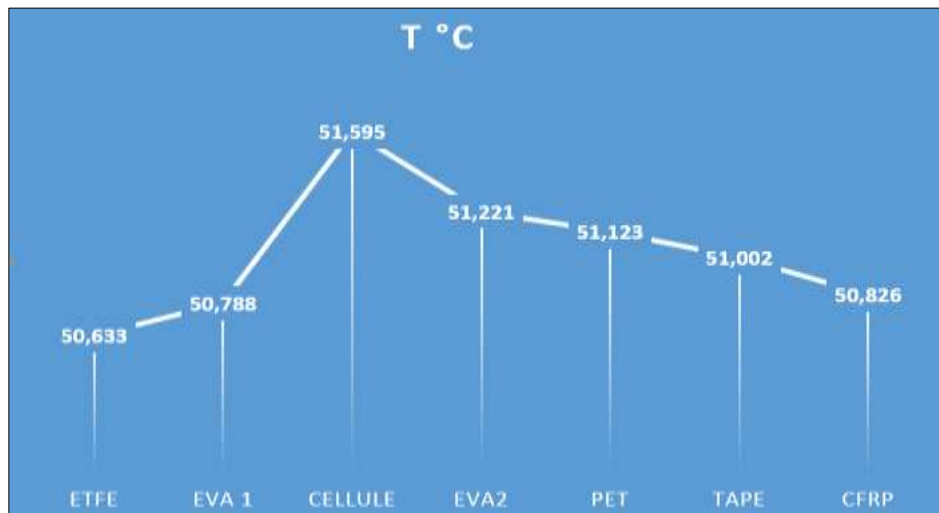
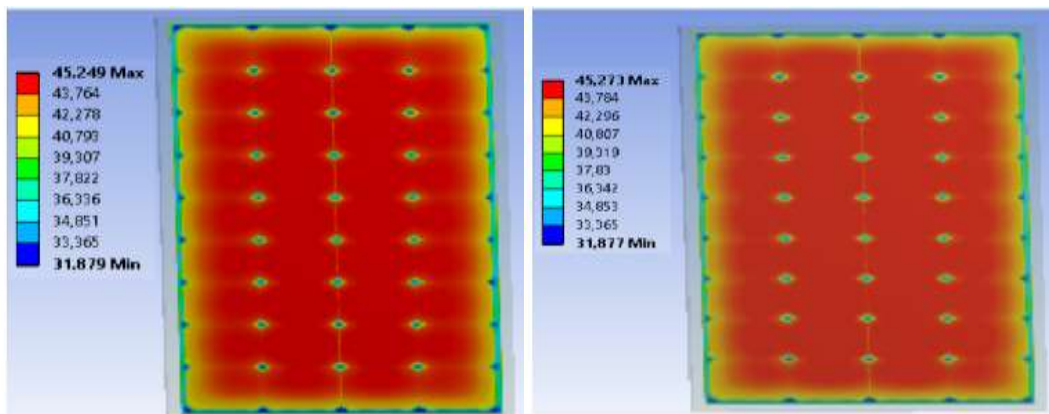


Figure IV.3: Evolution des températures moyenne des différentes couches constituant le panneau photovoltaïque.

De même, la température moyenne de la couche EVA1(50,788°C) est inférieure à la moyenne de la couche EVA2 (51,221°C). Cela est relié à la chaleur générée par la couche cellule PV. La température moyenne des couches PET et TAP sont 51,123°C et 51,002 °C respectivement.

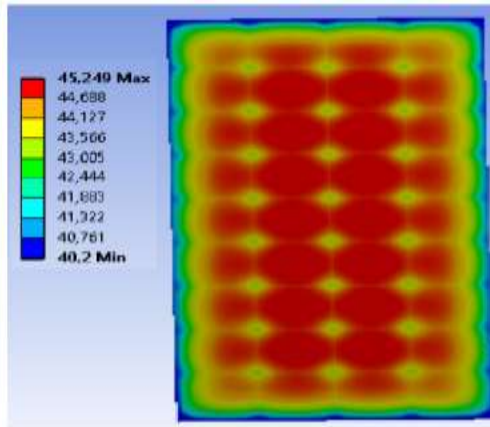
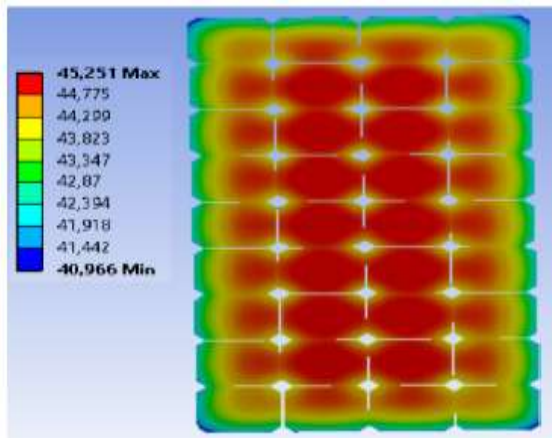
IV.3 Effet des radiations sur la distribution des températures dans un panneau PV

Dans le but d'étudier l'effet des radiations solaires sur la distribution des températures dans un panneau PV, on a effectué notre simulation sur le même panneau PV cité au paravent en gardant la température ambiante ($T=25\text{ °C}$) et la vitesse du vent ($V=1\text{ m/s}$) constantes en changeant les radiations solaires de 400 W/m^2 - 800 W/m^2 avec un pas de 200 W/m^2 . Notant que le cas 1000 W/m^2 présente le cas précédant. Ces distributions de température 400 W/m^2 , 600 W/m^2 et 800 W/m^2 sont illustrées sur les Figures IV.5, IV.6 et IV.7 respectivement.



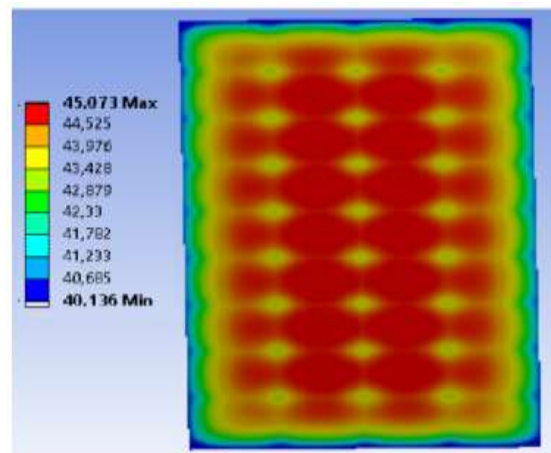
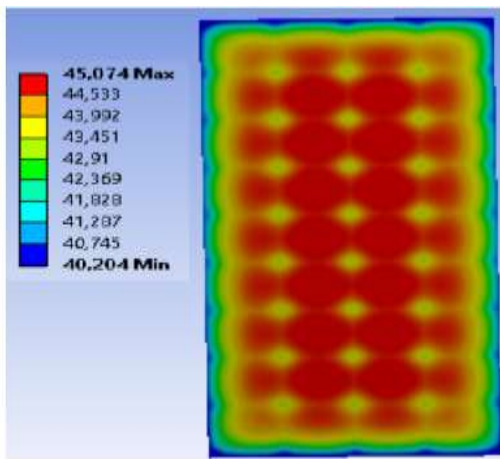
ETFE

EVA 1.



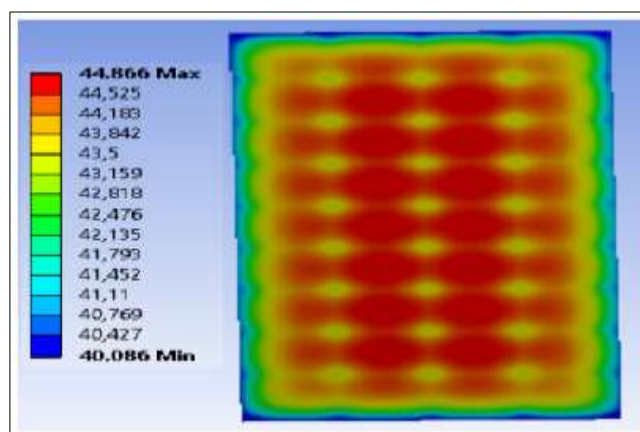
Cellule PV.

EVA2.



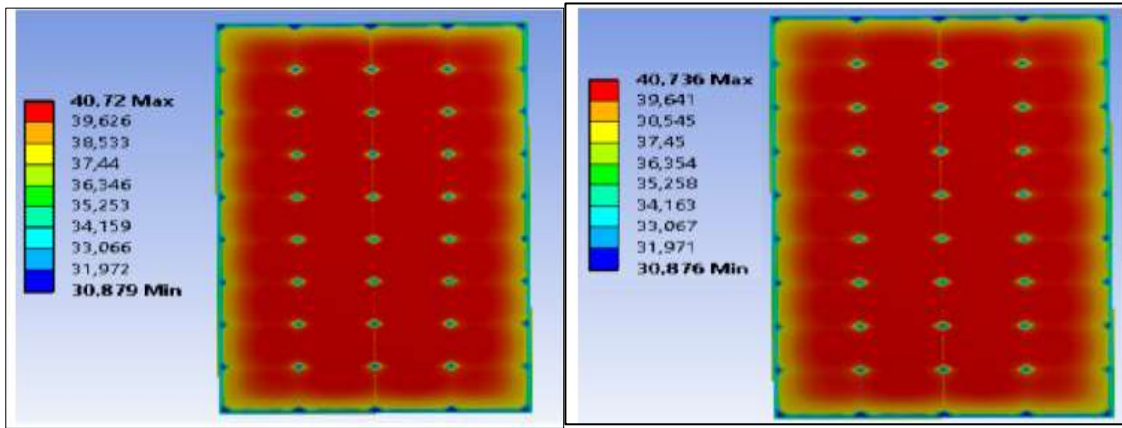
PET

TAPE



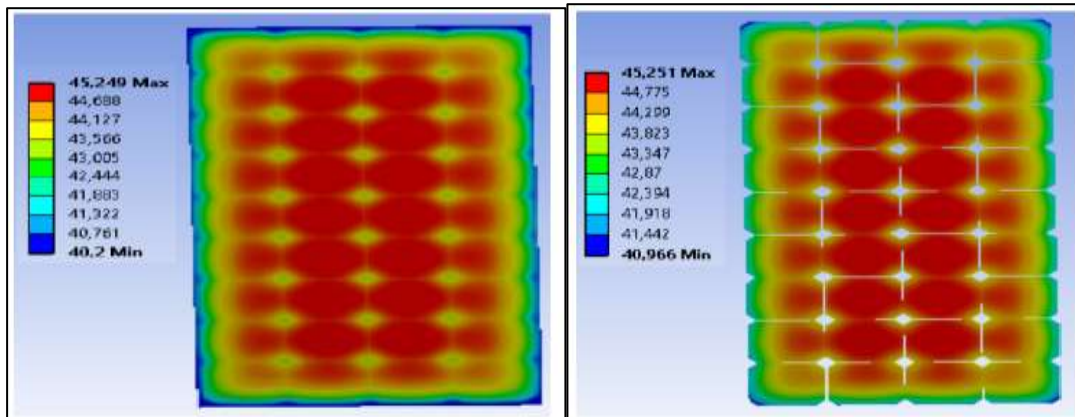
CFRP

Figure IV.5 : La distribution des températures dans les différentes couches du panneau PV. ($G=800 \text{ W/m}^2$, $T_a=25^\circ\text{C}$ et $V=1 \text{ m/s}$)



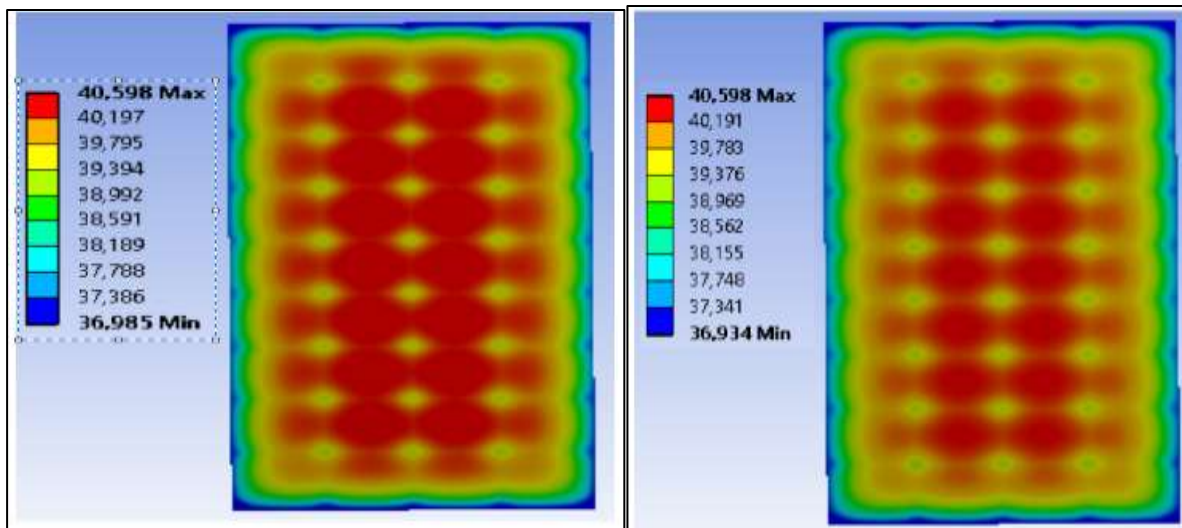
ETFE

EVA 1.



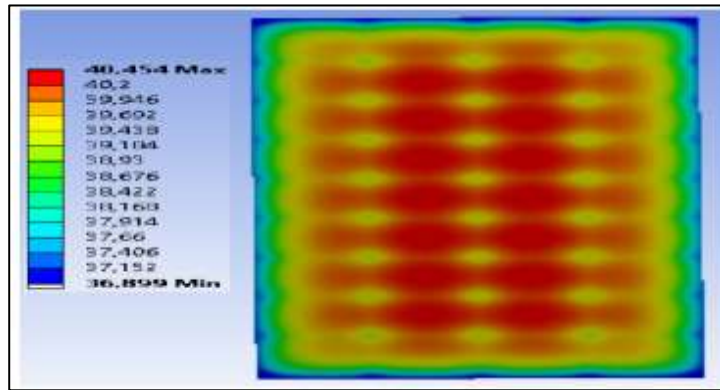
Cellule PV.

EVA2.



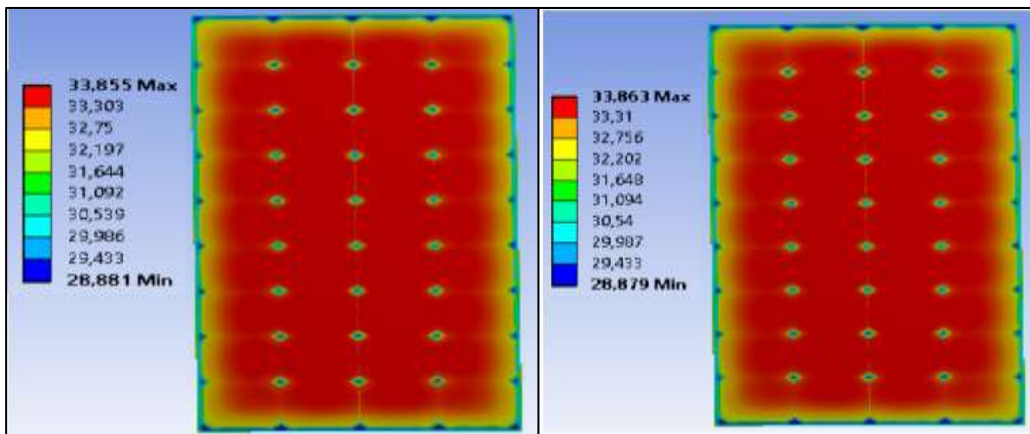
PET.

TAPE.



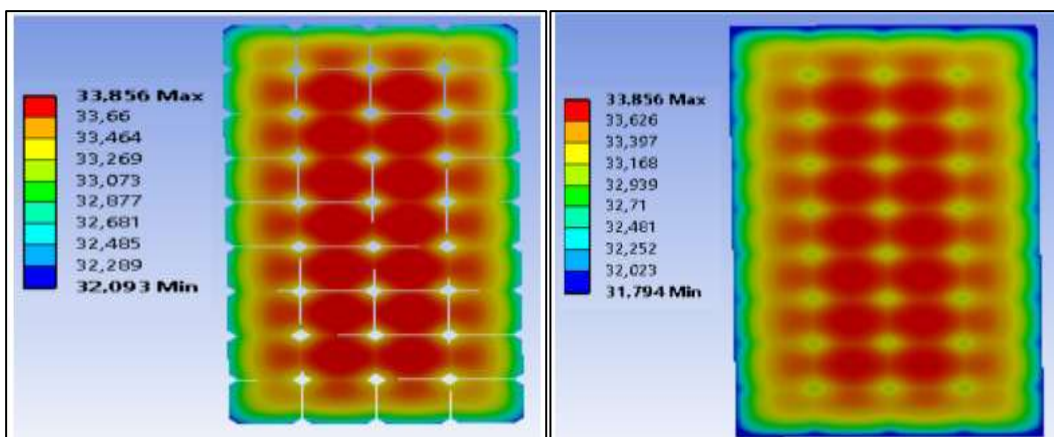
CFRP

Figure IV.6 : La distribution des températures dans les différentes couches du panneau PV. ($G=600 \text{ W/m}^2$, $T_a=25^\circ\text{C}$ et $V=1 \text{ m/s}$)



ETFE

EVA 1.



Cellule PV.

EVA2.

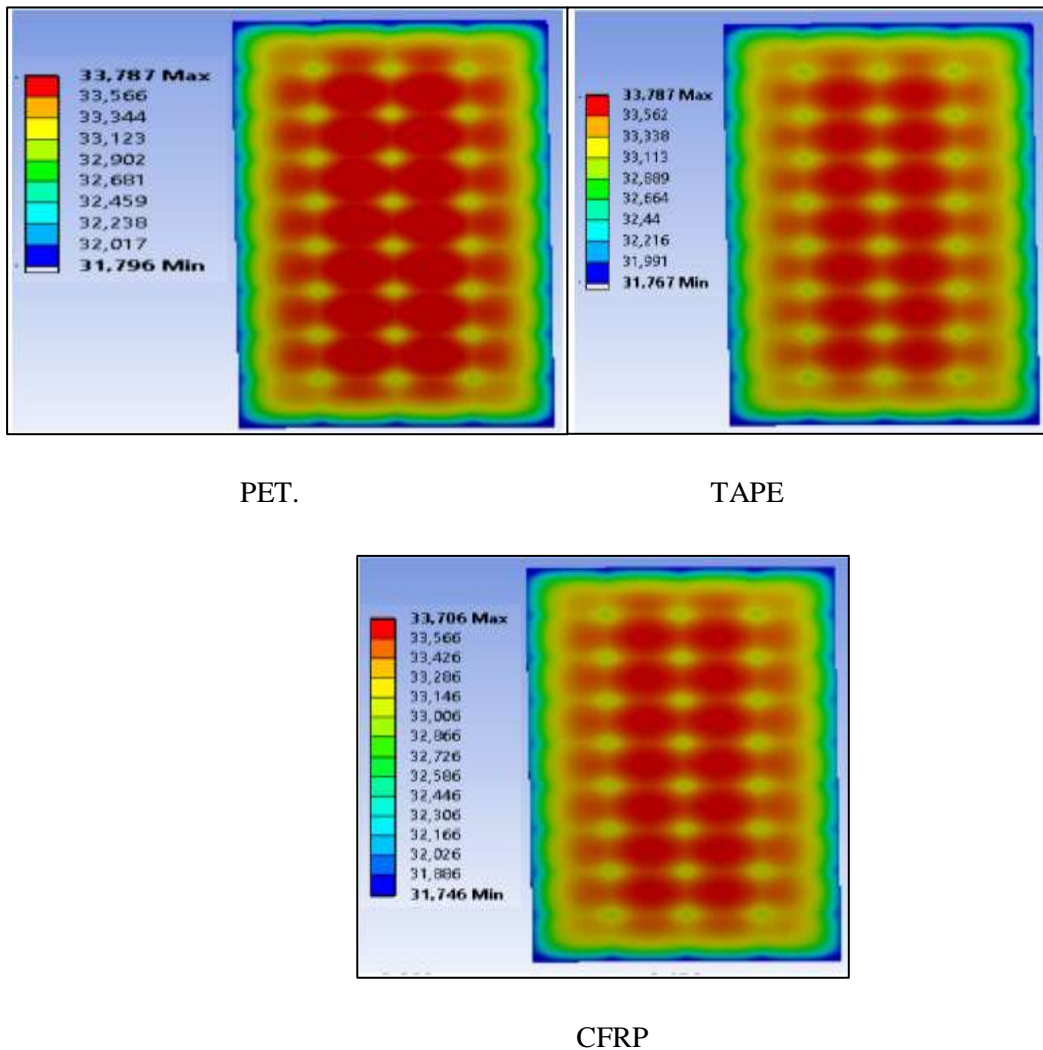


Figure IV.7 : La distribution des températures dans les différentes couches du panneau PV.(
 $G=400 \text{ W/m}^2$, $T_a=25^\circ\text{C}$ et $V=1 \text{ m/s}$)

On constate que la répartition des températures dans les différentes couches est affectée par les radiations solaires, elle augmente avec l'augmentation des radiations solaires. Ce qui est bien illustré par l'évolution des températures moyennes dans les différentes couches comme illustré dans le Tableau IV.1. Toutes les valeurs des températures moyennes dans les différentes couches constituant le panneau PV augmentent avec l'augmentation des radiations solaires.

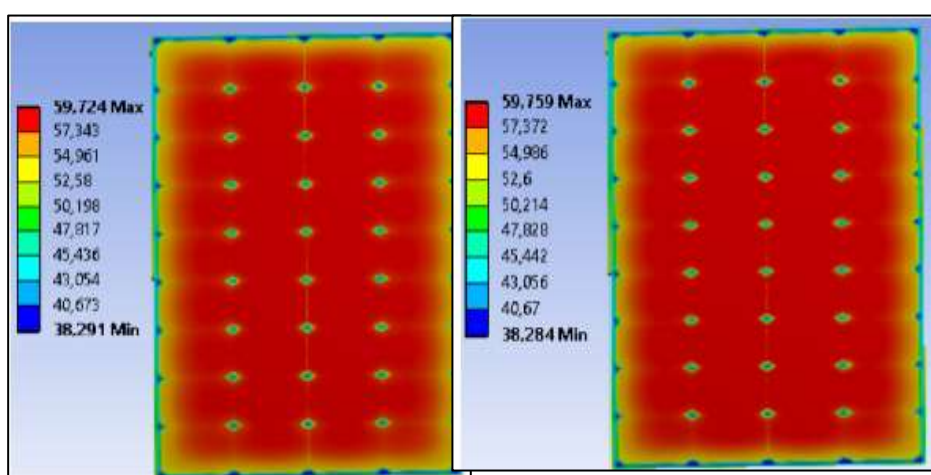
La distribution des températures dans les différents cas des radiations solaires est la même, la température de la cellule est la plus élevée de toutes les couches à titre d'exemple à 600 W/m^2 , elle présente une valeur de $39,968^\circ\text{C}$ et à 1000 W/m^2 , elle est de 51.595°C avec une augmentation de 29%.

Tableau IV.1 : Les températures moyennes dans les différentes couches suivant la variation des radiations solaires.

La couche	ETFE (°C)	EVA1 (°C)	CELLULE (°C)	EVA2 (°C)	PET (°C)	TAPE (°C)	CFRP (°C)
G=1000 w/m ²	50,633	50,788	51,595	51,221	51,123	51,002	50,826
G=800 w/m ²	43,568	43,686	44,686	43,991	43,917	43,824	43,6789
G=600 w/m ²	39,459	39,538	39,968	39,763	39,711	39,647	39,553
G=400 w/m ²	33,184	33,225	33,444	33,33	33,3	33,264	33,211

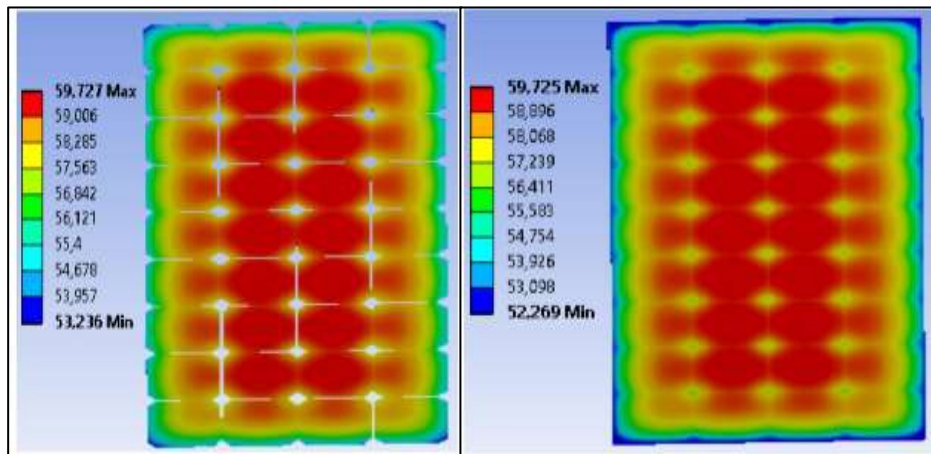
IV.4 Effet de vitesse de vent sur la distribution des températures dans un panneau PV :

Dans le but d’étudier l’effet de la vitesse du vent sur la distribution des températures dans un panneau PV, on a effectué notre simulation sur le même panneau PV cité au paravent en gardant la température ambiante (T=25 °C) et les radiations solaires (G=1000 W/m²) constantes en changeant la vitesse du vent de 0.5 m/s, 1.5 m/s et 2 m/s. Notant que le cas 1 m/s est étudié précédemment. Ces distributions de température 0.5 m/s, 1.5 m/s et 2 m/s sont illustrées sur les Figures IV.8, IV.9 et IV.10 respectivement.



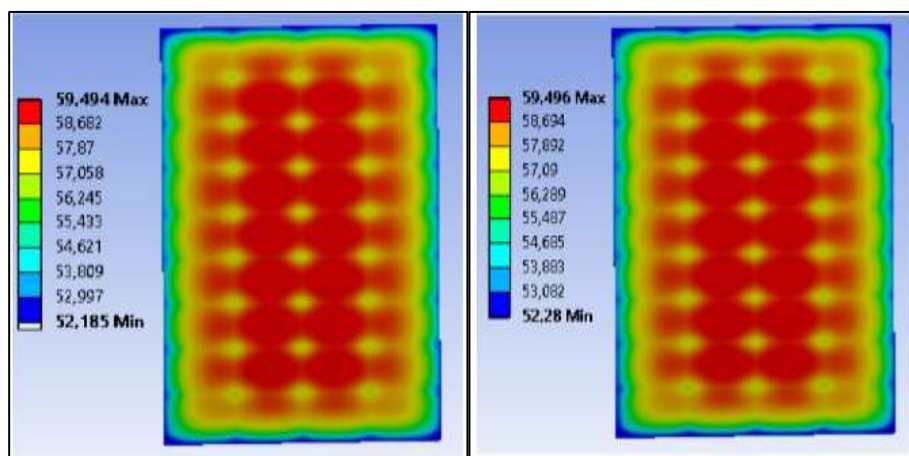
ETFE

EVA 1.



Cellule PV.

EVA2.

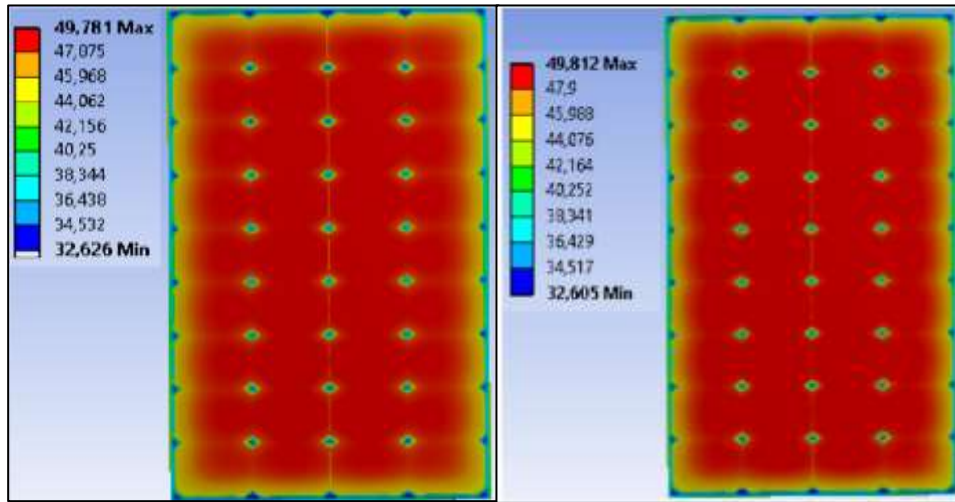


PET.TAPE

CFRP

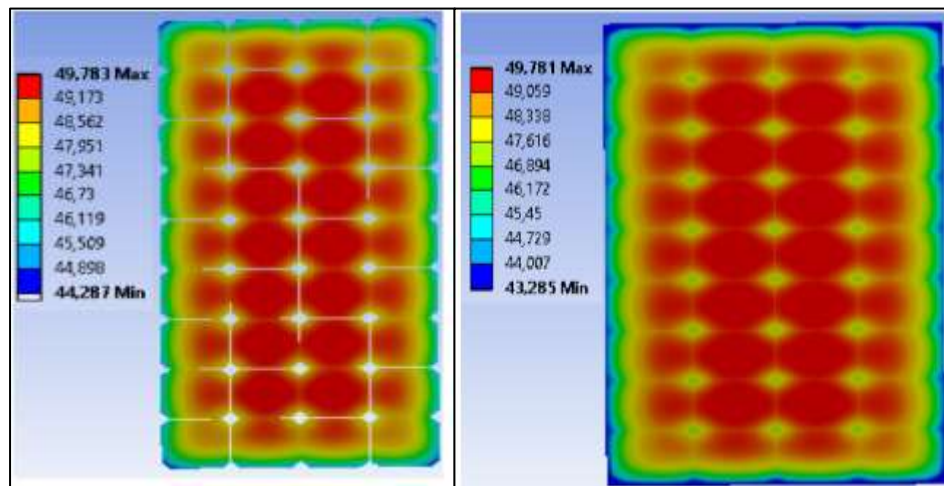
Figure IV.8: La distribution des températures dans les différentes couches du panneau PV.

($V=0,5m/s$, $T_a=25^{\circ}C$ et $G=1000 W/m^2$)



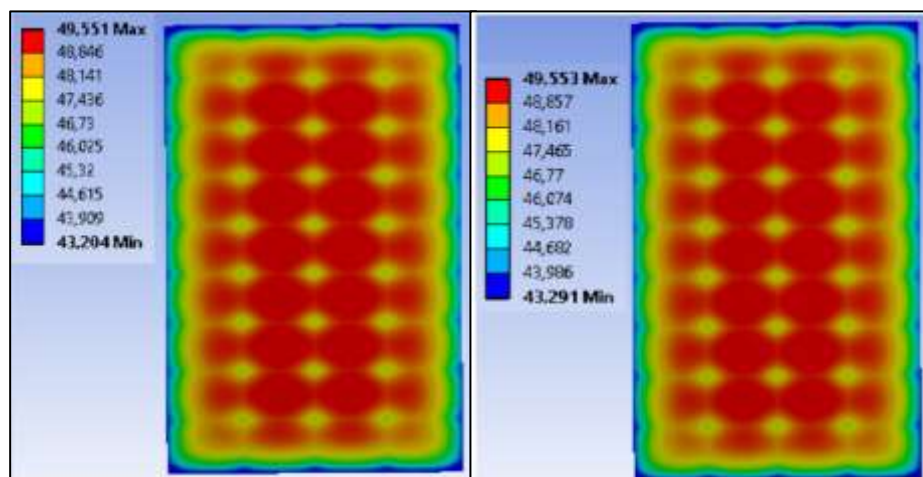
ETFE

EVA 1.



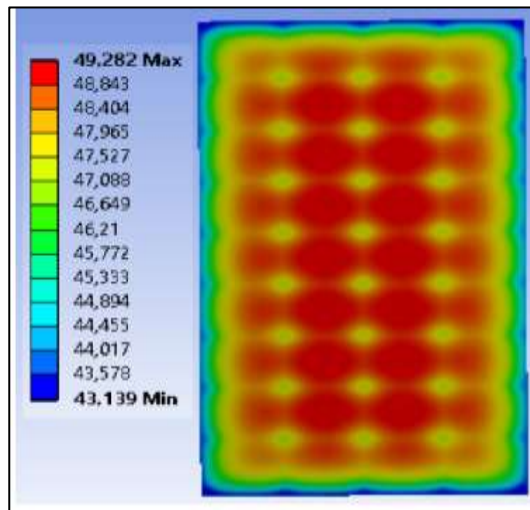
Cellule PV.

EVA2.



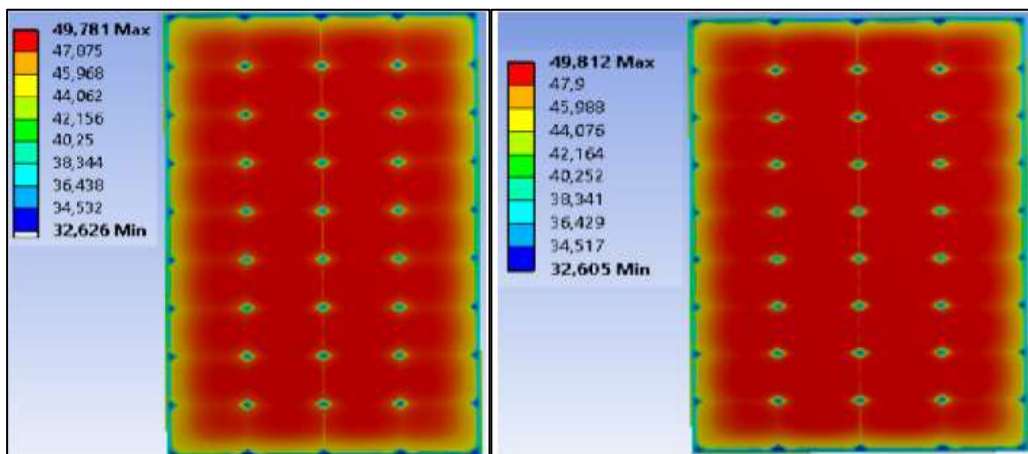
PET.

TAPE.



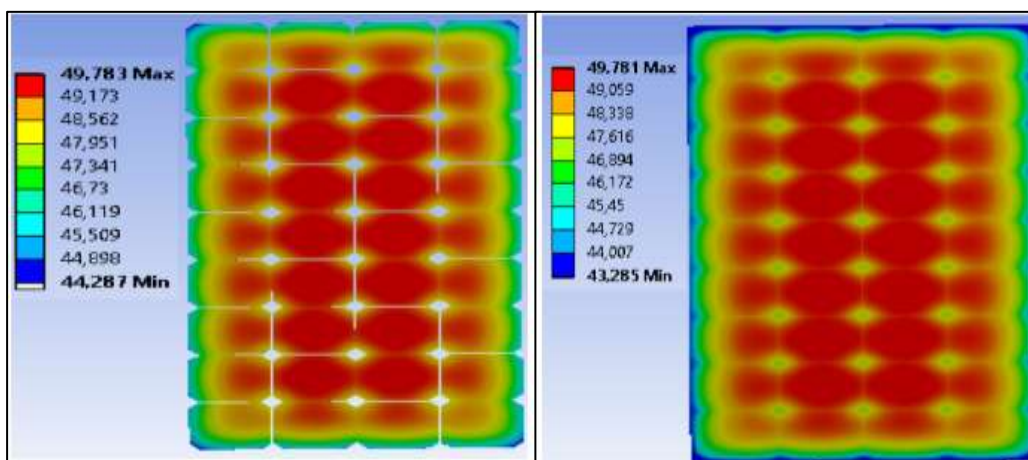
CFRP

Figure IV.9: La distribution des températures dans les différentes couches du panneau PV.
($V=1,5\text{m/s}$, $T_a=25^\circ\text{C}$ et $G=1000\text{ W/m}^2$)



ETFE

EVA 1.



Cellule PV.

EVA2.

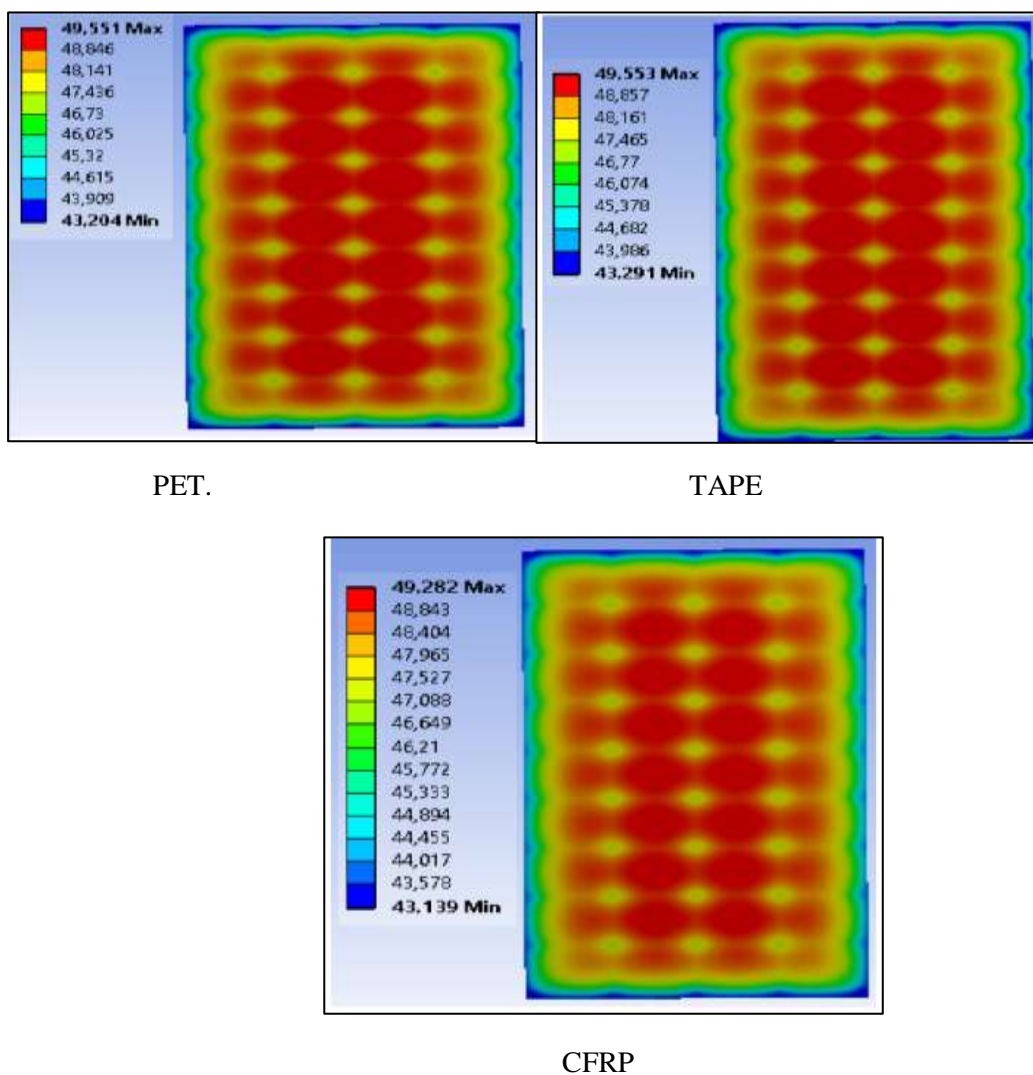


Figure IV.10: La distribution des températures dans les différentes couches du panneau PV. ($V=2\text{m/s}$, $T_a=25^\circ\text{C}$ et $G=1000\text{ W/m}^2$)

On constate également que la répartition des températures dans les différentes couches est affectée par la vitesse du vent, elle diminue avec l'augmentation des vitesses du vent. Ce qui est bien illustré par l'évolution des températures moyennes dans les différentes couches comme illustré dans le Tableau IV.2. Toutes les valeurs des températures moyennes dans les différentes couches constituant le panneau PV diminuent avec l'augmentation de la vitesse du vent ce qui est dû au refroidissement du panneau PV.

La distribution des températures dans les différents cas de la vitesse du vent est la même, la température de la cellule est la plus élevée de toutes les couches à titre d'exemple à 0,5 m/s, elle présente une valeur de 58,184°C et à 1 m/s, elle est de 51.595 °C avec une diminution de 11.32 %.

Tableau IV.2 : Les températures moyennes dans les différentes couches suivant la variation de la vitesse du vent.

La couche	ETFE (°C)	EVA1 (°C)	CELLULE (°C)	EVA2 (°C)	PET (°C)	TAPE (°C)	CFRP (°C)
V=0,5 m/s	57,108	57,263	58,184	57,784	57,686	57,565	57,389
V= 1 m/s	50,633	50,788	51,595	51,221	51,123	51,002	50,826
V=1,5 m/s	47,623	47,778	48,534	48,17	48,072	47,952	47,776
V=2m/s	44,726	44,881	45,568	45,22	45,122	45,002	44,826

Conclusion

Dans ce chapitre notre simulation numérique d'un panneau PV en utilisant le logiciel ANSYS Workbench a été validé et la distribution des températures dans les différentes couches composant le panneau PV a été effectuée sous les radiations solaires de 1000 W/m^2 , la température ambiante de 25°C et la vitesse du vent de 1 m/s . Les résultats indiquent que la distribution des températures varie d'une couche à une autre selon les caractéristiques thermiques et l'épaisseur de ces couches. De même, la couche de la cellule PV présente des valeurs de température les plus élevées comparées avec les autres couches constituant le panneau PV. La température en bas du panneau est plus élevée que celle de haut.

Les radiations solaires affectent la distribution de température dans le panneau PV, les valeurs des températures dans les différentes couches augmentent avec l'augmentation des radiations solaires. On note que les températures dans la couche cellule PV sont les plus importantes quelque soit les radiations solaires.

La vitesse du vent également, présente un effet sur la distribution des températures dans les différentes couches constituant le panneau PV. Les valeurs des températures diminuent avec l'augmentation de la valeur de la vitesse du vent. La couche cellule PV présente toujours les valeurs les plus élevées et elle n'est pas affectée par la valeur de la vitesse du vent.

Conclusion générale

L'application photovoltaïque en Algérie présente un intérêt particulier, puisqu'elle dispose d'un gisement solaire très important. Ce qui se traduit par le nombre des centrales photovoltaïques sur le territoire national qui dépasse les 24. Le problème majeur des panneaux photovoltaïques réside dans la dégradation de leur performance suite à l'augmentation de leur température particulièrement dans les zones chaudes. C'est dans cette démarche que s'oriente notre étude de projet de fin d'étude. Notre mémoire vise l'étude thermique d'un panneau PV par simulation, la distribution des températures dans un panneau photovoltaïque et l'effet des radiations solaires et la vitesse du vent sur cette distribution de température, en utilisant le logiciel de simulation Ansys Workbench.

La simulation numérique s'avère être un outil précieux pour étudier la thermique d'un panneau photovoltaïque. Elle permet de modéliser le comportement thermique du panneau en tenant compte de divers facteurs, tels que:

- Les conditions climatiques: Rayonnement solaire, température ambiante, vent, etc.
- Les caractéristiques du panneau: matériaux, dimensions, orientation, etc.

L'étude faite le long de ce mémoire nous a permis de retenir les points suivants :

- Une simulation numérique d'un panneau PV composé de sept couches ((ETFE (verre), EVA1, Cellule, EVA2, PET, TAPE et CFRP) en tenant compte des radiations solaires, de la température ambiante et de la vitesse du vent, a été effectuée ;
- La validation de notre simulation a été confirmée ;
- La distribution des températures varie d'une couche à une autre selon les caractéristiques thermiques et l'épaisseur de ces couches. La couche de la cellule PV présente des valeurs de température les plus élevées comparées avec les autres couches constituant le panneau PV. La température en bas du panneau est plus élevée que celle de haut.
- Les radiations solaires affectent la distribution de température dans le panneau PV, les valeurs des températures dans les différentes couches augmentent avec l'augmentation des radiations solaires. Les températures dans la couche cellule PV

sont les plus importantes quelque soit les radiations solaires.

- La vitesse du vent également, présente un effet sur la distribution des températures dans les différentes couches constituant le panneau PV. Les valeurs des températures diminuent avec l'augmentation de la valeur de la vitesse du vent. La couche cellule PV présente toujours les valeurs les plus élevées et elle n'est pas affectée par la valeur de la vitesse du vent.

On peut dire que l'augmentation des radiations solaires conduit à l'augmentation de la température du panneau PV, ce qui affecte son rendement et son efficacité.

Comme perspective, on propose de continuer ce travail en visant l'effet de la température ambiante, l'effet de l'inclinaison du panneau sur la distribution des températures dans un panneau PV. De même, l'étude numérique des systèmes de refroidissement des panneaux photovoltaïques.

Références bibliographiques

- [1] **ROUAB, H., & BOUDJELIDA, S.** (2017). *Etude et exploitation de l'énergie solaire dans le domaine de la production d'électricité* (Doctoral dissertation, Université Ibn Khaldoun).
- [2] **Driss, M. A., & ATTOU, A.** (2023). *Véhicule électrique alimenté par photovoltaïque* (Doctoral dissertation).
- [3] **HACINI, M. S., & NAILI, I.** (2022). *Etude et commande d'un système solaire photovoltaïque* (Doctoral dissertation, UNIVERSITE DE OUARGLA).
- [4] **HORRI, R., & HEMAID, K.** (2020). *ÉTUDE ET MODÉLISATION D'UN SYSTÈME PHOTOVOLTAÏQUE D'UNE POMPE IMMERGÉE* (Doctoral dissertation, Université Ibn Khaldoun).
- [5] **Nicolas, J.** (1993). *Production d'énergie et environnement.*
- [6] **Arrachdi, L., Boussaid, M., & Bouchouicha, K.** (2020). *Quantification de l'albédo des obstacles entourant un panneau solaire dans un milieu Désertique* (Doctoral dissertation, universite Ahmed Draia-ADRAR).
- [7] **Bekri, S.** *Application énergétique renouvelable dans la wilaya d'El-Oued.*
- [8] **Tabcheh, N.** (2023). *Contribution aux technologies de génération d'impulsions électriques ultracourtes pour application dans le domaine de la bioélectricité* (Doctoral dissertation, Université de Limoges).
- [9] **Maoulida, F. A. H. A. D.** *Modélisation d'un module photovoltaïque de type bp sx 150 pour la génération d'énergie électrique.*
- [10] **Mambrini, T.** (2014). *Caractérisation de panneaux solaires photovoltaïques en conditions réelles d'implantation et en fonction des différentes technologies* (Doctoral dissertation, Université Paris Sud-Paris XI).
- [11] **Arbi, M.** (2010). *ETUDE ET MODELISATION D'UN GENERATEUR PHOTOVOLTAÏQUE.*
- [12] **GUELLOULA, M., & MEDJEDOUB, A.** (2020). *Effet des nanoparticules sur l'amélioration du transfert thermique dans une cavité rectangulaire* (Doctoral dissertation, Université Ibn Khaldoun-Tiaret-).
- [13] **Roumaïssa, D. J. E. B. L.** (2022). *Transfert de chaleur d'un nanofluide dans un récipient conique* (Doctoral dissertation, university center of abdalhafid boussouf-MILA).
- [14] **Mladin, E. C., Lachi, M., & Padet, J.** (2001, May). *Transfert de chaleur couplé conduction-convection en régime instationnaire, induit par une température imposée sur une plaque d'épaisseur finie. In Congrès Français de Thermique, SFT Nantes (pp. 87-92).*
- [15] **ELISLAM, C. A. N.** *L'ETUDE LA CONDUCTION THERMIQUE.*

- [16] **Charafeddine, B.** (2020). *Amélioration du refroidissement d'un module photovoltaïque par l'usage de la nanotechnologie.*
- [17] **BARBRI, H., & HADDI, S.** (2016). *Etude numérique de la convection naturelle dans une cavité chauffée avec un flux imposé* (Doctoral dissertation, Université Ibn Khaldoun).
- [18] **Swiatek, M.** (2015). *Etude de la convection naturelle et de la stratification thermique dans une cavité inclinée et chauffée au milieu: application aux capteurs solaires autostockeurs* (Doctoral dissertation, Université Grenoble Alpes).
- [19] **RAFAL, A.** (2018). *Étude d'un Séchoir solaire à convection forcée pour le séchage de la pomme de terre à Biskra.*
- [20] **Mokhtari, F., Semmar, D., & Hamid, A.** (2003). Etude de la variation de la température de la plaque absorbante pour différents capteurs solaires à air. *Rev. Energ. Rev, 11*, 47-51
- [21] Charafeddine, B. (2020). Amélioration du refroidissement d'un module photovoltaïque par l'usage de la nanotechnologie.
- [web1] https://www.google.com/search?sca_esv=09379ecd0b6efd91&rlz=1C1SJWC_frDZ1087DZ1087&sxsrf=ACQVn08zcnQbag7o2K7TSBVocmXOK8_jgA:1713548268926&q=principe+de+la+conduction+thermique&uds=AMwkrPtcdaFTyCJB3MvTo_Fo90IaJNP5Ufy3aQKFaUqIVytkIPisZBmeJKNcJqn0tdbiB8NtGFzQ4xPFd5iAuM4JygdFMOaa4iAwuB86KkTvkRK7uyC1Gnntjfr1y3p8gm1gQ1Qy3LRHd1wSC2FOyq4ZMaYGtxncj0o-5QKEB1fNbZOjAehjS9nxJiHHvo1TUhReDMll4pYrh8yGLP8KSXQ0rqDO016uVgt1sQWa0Y4CO22b8nr8hQ6_dUIP8sCzPqTtUpX4BYreFvJH5U8QpHKqC7PGR572gkNn8-GpwMT4HxvRus74amJrZ42vA55POitv-sxQ03lrnqf4gt9XwqyMZy0HUYiWSA&udm=2&prmd=ivsnbmtz&sa=X&ved=2ahUKEwikxP_e6M6FAxV1fKQEHZYuAigQtKgLegQICRAB&biw=1366&bih=568#vhid=KR_G5QNMa5L-m9M&vssid=mosaic
- [web2] sfp.in2p3.fr/Debat/debat_energie/websfp/jourde.htm
- [web3] <https://www.habitatpresto.com/mag/electricite/panneaux-photovoltaïques/fonctionnement-photovoltaïque>
- [web4] https://www.google.com/search?q=convertir+du+rayonnement+thermique.&sca_esv=09379ecd0b6efd91&rlz=1C1SJWC_frDZ1087DZ1087&udm=2&biw=1366&bih=625&sxsrf=ACQVn0_TGIYUOfmxth0_Y1iBztsxH97I_A%3A1713548505316&ei=2awiZojsErqKkdUPkeemgAI&ved=0ahUKEwjIvNvP6c6FAxU6RaQEHzGzCSAQ4dUDCBA&uact=5&oq=convertir+du+rayonnement+thermique.&gs_lp=Egxnd3Mtd2l6LXNlcni2NvbnZlcnRpciBkdSBYyXlvm5lbWVudCB0aGVybWlxdWUuSMVnUJEJWJZfcAJ4AJABAJgBjwGgAcoPqgEEMc4xN7gBA8gBAPgBAZgCAqACE8ICBBAjGceYAwCIBgGSBwEyoAf9BQ&sclient=gws-wiz-serp
- [web5] https://www.google.com/search?q=+fluide+en+mouvement+dans+la+convection&sca_esv=09379ecd0b6efd91&rlz=1C1SJWC_frDZ1087DZ1087&udm=2&sxsrf=ACQVn09tb5Lobr5GMtHeHS8dEY3c-b06PQ%3A1713549332022&ei=FLAiZqd_j6OR1Q_v25HoBQ&ved=0ahUKEwin2fXZ

[7M6FAxWPUaQEHe9tBF0Q4dUDCBA&uact=5&oq=+fluide+en+mouvement+dans+la+convection&gs_l=Exnd3Mtd2l6LXNlcnAiJyBmbHVpZGUgZW4gbW91dmVtZW50IGRhbnMgbGEgY29udmVjdGlvbKjYF1CjBlj4EXABeACQAQGYAcMDoAGrDqoBCTAuNy4wLjEuMbgBA8gBAPgBAZgCAKACAJgDAIgGAZIHAKAHIQM&scient=gws-wiz-serp#vhid=gMs1ETZtZJ7mKM&vssid=mosaic](https://www.google.com/search?q=+fluide+en+mouvement+dans+la+convection&gs_l=Exnd3Mtd2l6LXNlcnAiJyBmbHVpZGUgZW4gbW91dmVtZW50IGRhbnMgbGEgY29udmVjdGlvbKjYF1CjBlj4EXABeACQAQGYAcMDoAGrDqoBCTAuNy4wLjEuMbgBA8gBAPgBAZgCAKACAJgDAIgGAZIHAKAHIQM&scient=gws-wiz-serp#vhid=gMs1ETZtZJ7mKM&vssid=mosaic)

[web6]https://www.google.com/search?q=+syst%C3%A8me+el%C3%A9ctrique+panneaux+sol+aire&sc_esv=dc237e1a21ded4e7&rlz=1C1SJWC_frDZ1087DZ1087&udm=2&biw=1366&bih=625&sxsrf=ACQVn09_XGKxFBnt1DoA12umQqYtZZhuyg%3A1713608200560&ei=CJYjZrDyIe_4kdUPpc6E0As&ved=0ahUKEwiwltCAyNCFaxVvfKQEHSUnAboQ4dUDCBA&uact=5&oq=+syst%C3%A8me+el%C3%A9ctrique+panneaux+solaire&gs_l=Exnd3Mtd2l6LXNlcnAiJiBzeXN0w6htZSB1bMOpY3RyaXF1ZSBwYW5uZWFl eCBzb2xhaXJISObSAVD3BVjIlygFwAXgAkAEAmAHtAaABzSWqAQYwLjM1LjG4AQPIAQD4AQGYAgGgAo0BwgIEECMYJ5gDAIgGAZIHAAzAuMaAH_g4&scient=gws-wiz-serp#vhid=McVMg2Gx2qHHVM&vssid=mosaic

[Web7]https://fr.bluesunpv.com/bluesun-all-black-solar-energy-panel-18v-70w-110w-mini-solar-panel-price-ce-certificate_p491.html

Annexe 1

Les calculs effectués pour introduire des conditions au limites :

Le tableau1 représente les valeurs de transmission d'absorption et de réflexion de différents matériaux des surfaces du panneau PV.

Matériel	Absorptivité	Transmissivity	Réflexivité
ETFE	0.1	0,83	0.07
EVA	0	1	0
Si	0.97	0	0.03

Tableau 1 : Les caractéristiques (transmission d'absorption et de réflexion) de différents matériaux des surfaces:

Dans les conditions de $G= 1000 \text{ W/m}^2$, $T_a= 25^\circ\text{C}$ et $V= 1\text{m/s}$, le flux thermique absorbée par la couche ETFE est donnée par :

$$q_{ETFE} = 0,1 * 1000 = 100 \text{ W/m}^2$$

Et le flux réfléchi (7 %) appelé ce perdant optique, il est calculé par la formule suivante:

$$q_{ETFE\text{reflet}} = 0,07 * 1000 = 70 \text{ W/m}^2 .$$

Les deux couches EVA1 et EVA2 sont supposées complètement transparentes (il n'y a ni réflexion ni absorption). Tout le flux restant(transmi), qui sera égal à 830 W/m^2 , arrive sur la cellule de silicium, mais dans une cellule de silicium, il y a une réflectivité égale à. 3%, donc le flux sur la couche de cellule PV est :

$$0,3 * 830 = 24,9 \text{ W/m}^2 = 25 \text{ W/m}^2$$

Le flux de chaleur qui est réfléchi par la couche cellule PV est absorbé par la couche EVA1

$$q_{EVA1} = 25 \text{ W/m}^2 \quad \Rightarrow \quad \text{Heat flux EVA1} = 25 \text{ W/m}^2$$

Le flux qui reste qui traverse la couche cellule PV :

$$830 - 25 = 805 \text{ W/m}^2$$

D'autre part le panneau solaire génère une puissance de 70 W, qui se traduit sous forme d'un flux comme suit :

La superficie d'une cellule (0,01468 m²) .

La superficie de tout le panneau (36 cellules)

$$0,01468 * 36 = 0,52848 \text{ m}^2$$

Le flux généré par le panneau PV est égale à :

$$70 / 0,52848 = 132,455 \text{ w}$$

Donc le flux qui reste :

$$805 - 132,455 = 672,545 \text{ W/m}^2$$

$$q_{\text{Cellule}} = 672,545 \text{ W/m}^2 \quad \Rightarrow \quad \text{heat flux} = 672,545 \text{ W/m}^2$$

L'ÉMISSIVITÉ TYPIQUEMENT EST 0,89 pour la couche ETFE ET la couche CFRP.

Radiation ETFE = 0,89

Radiation CFRP = 0,89

2. Les coefficients de convection :

La convection a haut = 7,94 W/m²°C pour vitesse de vent V = 1 m/s .

La convection a bas = 7,95 W/m²°C pour vitesse de vent V = 1 m/s .

Résumé :

L'étude thermique d'un panneau PVconstite à déterminer la distribution des temperature dans les sept couches constituant le panneau PV(((ETFE (verre), EVA1, Cellule PV, EVA2, PET, TAPE et CFRP) en utilisant le logiciel de simulation Ansys Workbench(19.2). Les résultats de notre simulation indique que la distribution des températures varie d'une couche à une autre selon les caracteristiques thermiques et l'épaisseur de ces couches et la couche de la cellule PV présente des valeurs de température les plus élevées. Les radiations solaires et la vitesse du vent affectent la distribution de température dans le panneau PV. Les températures dans les couches du panneau PV augmentent avec l'augmentation des radiation solaires et elles diminuent avec l'augmentation des valeurs de la vitesse du vent.

ملخص

تتكون الدراسة الحرارية للوحدة الكهروضوئية من تحديد توزيع درجة الحرارة في طبقات السبع التي تشكل اللوح الكهروضوئية ((الزجاج) ETFE, EVA1, لخلية الكهروضوئية CFRP, TAPE, PET, EVA2), باستخدام برنامج المحاكاة 19.2 ANSYS WORKBENCH تشير نتائج المحاكاة التي اجريناها الي ان توزيع درجات الحرارة يختلف من طبقة الي اخرها حسب خصائص الحرارية وسمك هذه الطبقات , كما ان طبقة الخلية الكهروضوئية تمثل اعلى قيم درجات الحرارة حيث ياتر الاشعاع الشمسي العالي وسرعة الرياح على درجة حرارة التوزيع في الالواح الكهروضوئية ,تزداد درجات حرارة في الطبقات الالواح الكهروضوئية مع زيادة الاشعاع الشمسي وتنخفض مع زيادة سرعة الرياح .

Abstract :

The thermal study of a PV panel consists of determining the temperature distribution in the seven layers constituting the PV panel (((ETFE (glass), EVA1, PV cell, EVA2,

PET, TAPE and CFRP) using the simulation software Ansys Workbench (19.2) The results of our simulation indicate that the temperature distribution varies from one layer to another depending on the thermal characteristics and the thickness of these layers and the layer of the PV cell presents the highest temperature values. High solar radiation and wind speed affect the temperature distribution in the PV panel. The temperatures in the layers of the PV panel increase with increasing solar radiation and decrease with increasing wind speed values.