

Remerciement

Avant d'entamer ce rapport nous voulons adresser nos profondes extrêmes et gratitude à tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin à réaliser ce modeste projet.

Ainsi nous adressons toute nos gratitude à notre encadrant **Pr. Chouaib Ennawaoui** d'avoir nous encadrer tout au long de la réalisation de ce projet. Il a été toujours disponible, à l'écoute de nos nombreuses questions, et toujours intéressé par l'avancement de nos travaux. Nous le remercions pour sa confiance, sa disponibilité, et surtout ses judicieux conseils qui ont contribué à alimenter notre réflexion.

Nous tenons aussi à remercier Pr. Azzedine AZIM Directeur de l'ENSAJ et Pr. Abdessamad EL BALLOUTI le chef de département de la filière GI et GEE pour le meilleur environnement de travail au sein de l'établissement.

Nous remercions également le corps professoral des filières Génie Industriel et Génie Energétique électrique qui a été toujours présent pour assurer la bonne formation.

Table des matières :

Cahier de charge :	6
Introduction générale :	10
Chapitre 1 :	11
Les panneaux photovoltaïques et les systèmes de refroidissement	11
1.1. Introduction	12
1.2. Fonctionnement des panneaux solaires	12
1.2.1. Panneau solaire thermique	12
1.2.2. Panneau solaire photovoltaïque :	13
1.2.3. Type de cellules photovoltaïques :	13
1.3. Paramètres influents sur le fonctionnement d'une cellule PV	14
1.3.1. Ensoleillement :	14
1.3.2. Température :	14
1.4. L'arrosage	16
1.5. Les nano fluides	17
1.5.1. Définition :	17
1.5.2. Principe :	18
1.5.3. L'effet de l'ajout des nanoparticules sur les propriétés du fluide de base :	19
1.6. Les Matériaux à changement de phase (MCP)	19
1.6.1. Définition :	19
1.6.2. Principe de changement de phase :	20
1.6.3. Principe :	21
1.6.4. Inconvénients de ces matériaux :	21
1.7. L'effet Thermoélectrique	22
1.7.1. Histoire de la thermoélectricité :	22
1.7.2. Définition :	22
1.7.3. Description :	23
1.7.4. Principe :	24
1.7.5. Combinaison panneau photovoltaïque et module Peltier :	25
1.8. Comparaison entre les quatre systèmes	26

1.9. Conclusion	27
Chapitre 2 :	28
Description et étude théorique du système Panneau photovoltaïque combiné avec Peltier	28
2.1. Introduction	29
2.2. Analyse fonctionnelle du système :	29
2.2.1. Diagramme de bête à cornes	29
2.2.2. Diagramme de pieuvre :	30
2.2.3. Diagramme FAST :	31
2.3. Description du système sur CATIA	32
2.4. Paramètre du module Peltier TEC 12705	33
2.5. Les caractéristiques des panneaux photovoltaïques de l'étude	35
	35
2.6. Puissance consommée par Peltier	36
2.7. L'effet du système sur le fonctionnement du panneau	38
2.7.1. L'effet du système sur le panneau acheté de 5w :	38
Chapitre 3 :	40
Dimensionnement et étude expérimentale de la combinaison des panneaux photovoltaïques et du module Peltier	40
3.1. Le choix du système contrôleur du module Peltier	41
3.1.1. Système1 : PID contrôleur :	41
3.1.2. Système2 : Programmation Arduino :	41
3.1.3. Système3 : Programmation Arduino+ alimentation Vcc :	42
3.2. Liste des matérielles :	42
3.3. Branchement du système :	43
3.4. Le système réalisé :	45
3.5. Le fonctionnement du panneau photovoltaïque	46
3.5.1. Sans système :	46
3.5.2. Avec système :	46
3.6. Interprétation :	47
Conclusion générale	48

Résumé :

Dans ce projet, nous avons étudié l'intégration de dispositifs de refroidissement thermoélectrique (TEC) dans des générateurs photovoltaïques (PV) pour constituer des systèmes PV-TEC afin d'améliorer les performances du système. L'efficacité des panneaux photovoltaïques est influencée de manière indésirable par l'augmentation de la température, ce qui réduit la prise de courant des cellules photovoltaïques. Pour cela, les Modules Peltier ont comme rôle réduire la température des cellules PV, augmenter l'efficacité du système, sa capacité de puissance et sa durée de vie. Le projet est basé sur un microcontrôleur Arduino comme unité de contrôle principale. La température du panneau est refroidie par un module de Peltier. Un capteur est utilisé comme dispositif de détection de température et envoie un retour d'information au microcontrôleur concernant la température actuelle du PV. Toutes les composantes sont connectées à des circuits analogiques pour former un contrôleur de rétroaction en boucle fermée afin de contrôler dynamiquement la température du PV. D'après la réalisation du prototype, on a constaté que le système a un faible rendement, néanmoins il permet aux panneaux photovoltaïques de s'approcher de 25°C et par conséquent augmenter le rendement des cellules PV.

Abstract:

In this project, we investigated the integration of thermoelectric cooling (TEC) devices into photovoltaic (PV) generators to build PV-TEC systems to improve system performance. The efficiency of photovoltaic panels is undesirably influenced by the increase in temperature, which reduces the current draw of the photovoltaic cells. For this, the role of the Peltier Modules is to reduce the temperature of the PV cells, increase the efficiency of the system, its power capacity and its lifespan. The project is based on an Arduino microcontroller as the main control unit. The panel temperature is cooled by a Peltier module. A sensor is used as a temperature sensing device and sends feedback to the microcontroller regarding the current temperature of the PV. All components are connected to analog circuits to form a closed loop feedback controller to

dynamically control the temperature of the PV. From the realization of the prototype, it was found that the system has a low efficiency, nevertheless it allows the photovoltaic panels to approach 25 ° C and therefore increase the efficiency of the PV cells.

Cahier de charge :

Vue les problèmes que nous faisons face au niveau des énergies, l'homme a pensé à utiliser et développer les énergies renouvelables, surtout l'énergie solaire. Parmi les contraintes qui minimisent l'efficacité de ce type d'énergie, sa sensibilité à la température, ce problème qui nous a amené à penser à contrôler cette température.

Monsieur ENNAWAOUÏ Chouaib, notre professeur encadrant, nous a demandé de nous focaliser sur le module à effet Peltier (conversion de l'électricité en chaleur), afin de composer un système capable de refroidir les panneaux photovoltaïques.

Ce système doit être capable de contrôler la température des panneaux photovoltaïques sans intervention humaine afin de construire un système indépendant ; pour mener à bien notre projet on doit assurer un système capable de connaître la température du panneau à chaque instant et la réguler si elle est au-delà de 25°C.

L'objectif de ce projet est d'obtenir un prototype qui représente la combinaison PV-Peltier et qui est capable de s'approcher de 25°C indépendamment de toute intervention de l'être humain, et ceci dans le but de maximiser le rendement.

Le bon avancement du projet nécessite une organisation et une stratégie basée sur l'étude théorique et la simulation du système afin de bien choisir le matériel nécessaire et faire l'expérience.

Liste de figures :

Figure 1 : Composition d'un panneau solaire thermique

Figure 2 : Composition d'un panneau photovoltaïque

Figure 3 : Influence de la température sur le PV

Figure 4 : Influence de la température sur le PV

Figure 5 : Arrosage d'un panneau photovoltaïque

Figure 6 : Refroidissement des cellules PV avec un micro canaux à base d'un nano fluide

Figure 7 : changement de phase de la matière

Figure 8 : Profil de changement de phase pour le stockage par chaleur latente

Figure 9 : système PV/PCM

Figure 10 : Composition d'un module Peltier

Figure 11 : Fonctionnement d'un module Peltier

Figure 12 : Système PV-Peltier

Figure 13 : Combinaison PV et Peltier

Figure 14 : Combinaison PV et Peltier

Figure 15 : Influence du système Peltier sur le PV à 35°C

Figure 16 : Influence du système Peltier sur le PV à 45°C

Figure 17 : Influence du système Peltier sur le PV à 55°C

Figure 18 : Influence du système Peltier sur le PV à 65°C

Figure 19 : Influence du système sur la puissance maximale à la sortie du PV

Figure 20 : Branchement du système

Figure 21 : Système réalisé

Figure 22 : Système réalisé

Figure 23 : Puissance du panneau photovoltaïque sans système

Figure 24 : Puissance du panneau photovoltaïque avec système

Liste des tableaux :

Tableau 1 : Conductivité thermique de divers fluides de base et matériaux à 20°C

Tableau 2 : Comparaison entre les quatre systèmes

Tableau 3 : Caractéristiques du module Peltier 12705

Tableau 4 : Paramètres d'un module Peltier 12705 à la température 35°C

Tableau 5 : Coefficients de la chaleur et la tension du Peltier déterminés théoriquement

Tableau 6 : Coefficients de la chaleur et la tension du Peltier déterminés expérimentalement

Tableau 7 : Caractéristiques du panneau acheté (5w)

Liste des symboles :

T_h : température de la face chaude du Peltier

T_c : température de la face froide du Peltier

R_p : résistance électrique du Peltier

K_p : conductance thermique du Peltier

α : coefficient Seebeck

N : nombre des Peltier

I : courant qui traverse Peltier

Q_c : la chaleur absorbée par la face froide du Peltier

Q_h : la chaleur dissipée par la face chaude du Peltier

V_{mes} : tension mesurée aux bornes du Peltier

V_{Seeb} : tension Seebeck

ΔT : différence de température

R_{Al} : résistance thermique d'Aluminium

K_{Al} : conductance thermique d'Aluminium

e : l'épaisseur d'Aluminium

S_2 : surface d'Aluminium

Q_{pv} : la chaleur dissipée par le panneau photovoltaïque

T_{pv} : température du panneau photovoltaïque

m_{pv} : masse du PV

C_{pv} : la chaleur spécifique du PV

Q : le flux de chaleur de conduction à travers l'Aluminium

T_f : température finale du PV

E : énergie, P : puissance

t : le temps

C : énergie consommée par Peltier

V_{mp} : tension du PV au point de puissance maximale

I_{mp} : courant du PV au point de puissance maximale

V_{oc} : tension du PV de circuit ouvert

I_{oc} : courant du PV de court-circuit

Introduction générale :

L'énergie reste un facteur incontournable pour le développement socio-économique d'une société. Elle devient de plus en plus problématique avec la flambée des prix du pétrole d'une part et les conséquences environnementales induites par l'utilisation des ressources fossiles. Aujourd'hui, différentes formes d'énergies renouvelables sous différentes technologies (solaire, éolienne, hydroélectricité, biomasse) offrent une grande flexibilité et une fiabilité satisfaisante pour atténuer le déficit énergétique dû à l'augmentation de la demande.

Parmi ces énergies, le photovoltaïque représente un enjeu important. L'énergie solaire photovoltaïque est une source d'énergie propre qui permet la conversion directe du rayonnement solaire en électricité par effet photovoltaïque, elle représente l'avantage d'être propre et inépuisable. Cependant, les cellules solaires photovoltaïques (PV) ne convertissent qu'une partie du rayonnement solaire incident, elles absorbent environ de 16% de l'énergie incidente et le reste transforme en chaleur et favorise son réchauffement et donc l'élévation de sa température selon Ingersoll et al [1]. Ce qui a pour effet d'affecter l'efficacité de ces cellules et celle des panneaux PV qu'elles composent. Pour des cellules PV caractérisées à 25°C et un flux de chaleur de 1000W/m², l'augmentation de la température de ses derniers au-delà de 25°C et qui peut atteindre 70°C [2] réduit leurs rendements de conversion [3], il a été démontré que le rendement global des cellules photovoltaïques diminue considérablement avec une augmentation de la température. Le taux de diminution varie de 0,25% à 0,5% par degré Celsius, en fonction du matériau de cellule utilisé. Alors, en maintenant la température des panneaux solaires PV proche de 25°C, on peut conserver leur efficacité.

Pour diminuer la température d'opération des PV, plusieurs techniques sont proposées, soit par l'amélioration du refroidissement libre derrière les panneaux grâce à la convection naturelle ou forcée ; soit par l'absorption de l'excès de la chaleur des PV afin de gagner une quantité appréciable d'énergie, jusqu'à un total de 5% [4].

Dans ce contexte nous avons étudié quatre systèmes différents de refroidissement des cellules photovoltaïques ; l'arrosage par l'eau, les matériaux à changement de phase, les nano fluides et dernièrement un dispositif hybride photovoltaïque-thermoélectrique combinant simultanément l'effet photovoltaïque et l'effet Peltier, après cette étude, nous proposons d'utiliser les modules Peltier afin de stabiliser la température des cellules photovoltaïque à 25°C afin d'obtenir un rendement maximal

Chapitre 1 :

Les panneaux photovoltaïques et les systèmes de refroidissement

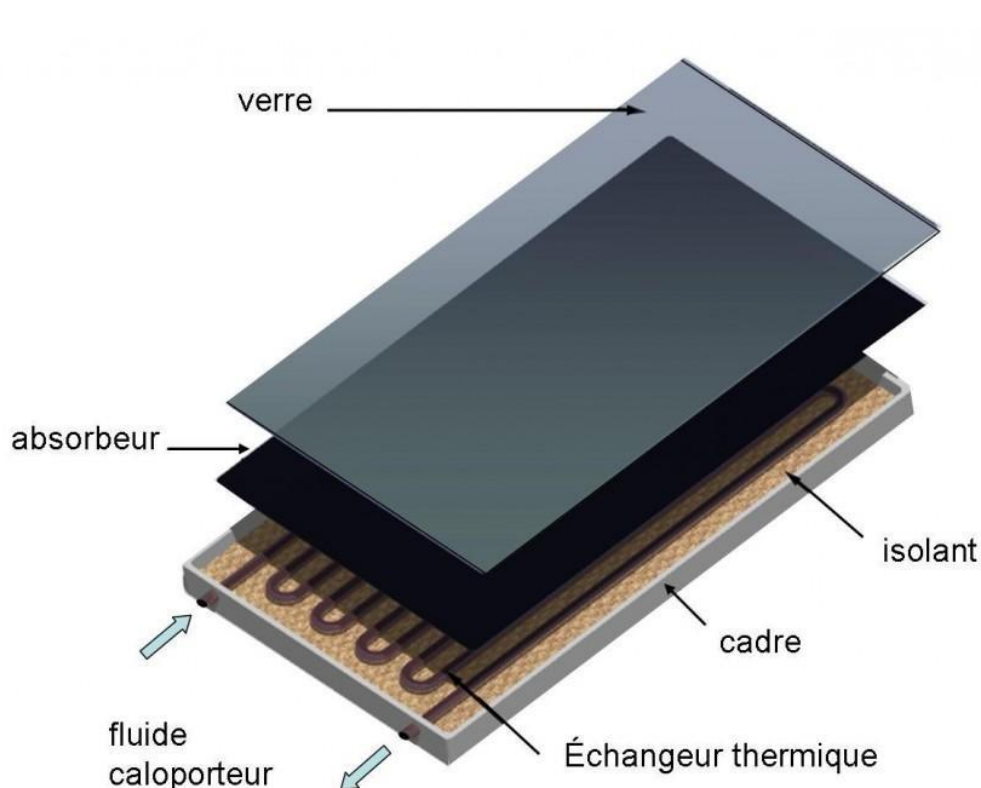
1.1. Introduction

L'énergie solaire est l'électricité produite par le rayonnement solaire, en suivant des différentes procédures telles que les capteurs solaires thermiques ou photovoltaïques. L'effet photovoltaïque est découvert par Alexandre Edmond Becquerel en 1839. Selon les estimations, l'énergie rayonnée par le soleil représenterait chaque année 40 000 fois les besoins énergétiques que l'humanité consomme sous forme d'énergies fossiles. Malgré cela, l'énergie solaire reste un domaine assez peu exploité. Néanmoins la prise de conscience collective en fait une énergie douce d'avenir.

1.2. Fonctionnement des panneaux solaires

1.2.1. Panneau solaire thermique

Un capteur solaire thermique consiste à convertir l'énergie de chaleur rayonnée par le soleil en énergie calorifique, il est composé d'un coffre vitré à l'intérieur duquel est placée une plaque et des tubes métalliques noirs (absorbeurs). Cette énergie collectée par les absorbeurs est cédée au fluide caloporteur circulant dans des canalisations qui servent à transporter la chaleur du capteur



vers
le

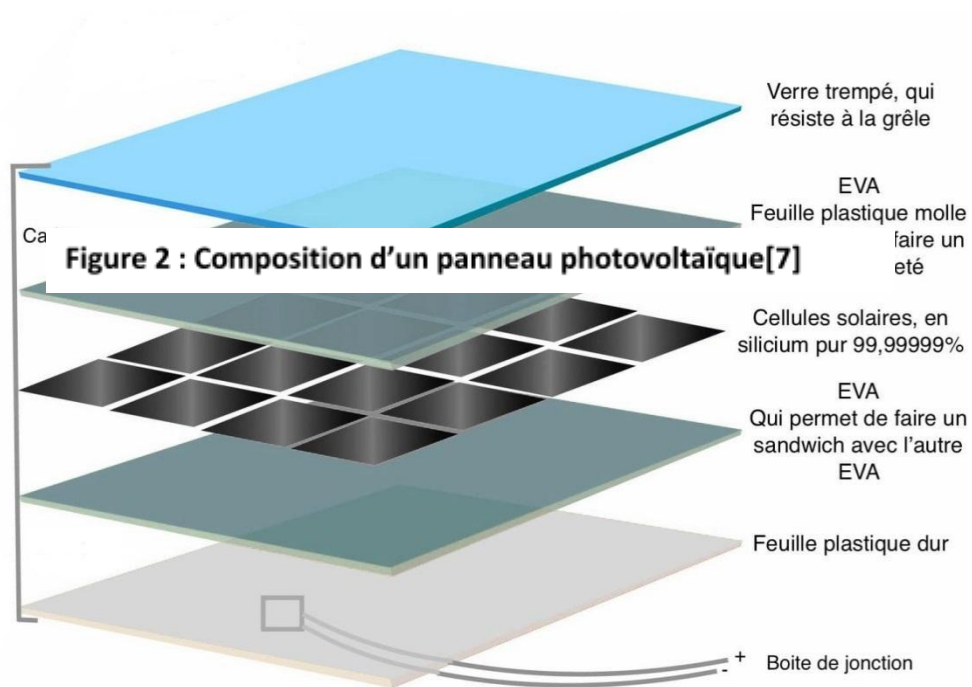
point d'utilisation. [5]

1.2.2. Panneau solaire photovoltaïque :

Il est clair qu'un panneau ou un module solaire photovoltaïque est constitué d'un assemblage de cellules en matériaux semi-conducteurs, généralement à base de silicium. Chaque cellule capte l'énergie de la lumière (photons) et la transforme en courant électrique continu.

Le matériau basique le plus utilisé pour la fabrication des cellules (PV) est le silicium. Un nombre d'étapes est nécessaire pour passer du quartz au module photovoltaïque fini.

La puissance du panneau photovoltaïque s'exprime en Watt crête (WC) : c'est la puissance maximale délivrée dans certaines conditions d'ensoleillement 1000 W/m^2 à une température de cellules de 25°C .



1.2.3. Type de cellules photovoltaïques :

- **Cellules monocristallines**

Les cellules au silicium monocristallin étoffent le meilleur rendement qui vaut entre 16% à 19%, mais font appel à une méthode de production plus complexe, et nécessitent une grande quantité d'énergie, donc elles sont coûteuses.

- **Cellules poly cristallines**

Les cellules au silicium poly cristallin ont généralement un rendement compris entre 12 et 14%. Ces cellules sont plus simples à fabriquer et moins chères.

- **Cellules amorphes**

Les cellules photovoltaïques amorphes sont fabriquées à partir du gaz de silicium.

Il s'agit d'un type de cellule que l'on retrouve dans la plupart des objets du fonctionnant quotidien à l'énergie solaire (calculatrice et montre solaire par exemple). Cependant, ces cellules ont des rendements limités (de l'ordre de 5 à 7%, soit environ 15m^2 pour 1kWc). [8]

1.3. Paramètres influents sur le fonctionnement d'une cellule PV

1.3.1. Ensoleillement :

L'ensoleillement faible provoque une diminution de la création de paires électron-trou avec un courant changé à l'obscurité. Le courant du panneau solaire étant égal à la soustraction de la photo courant et du courant de diode à l'obscurité, le courant électrique varie proportionnellement avec une diminution de l'ensoleillement, qui est accompagnée d'une très légère diminution de la tension V_{co} et donc un décalage du point P_{max} du panneau solaire vers les puissances inférieures.

1.3.2. Température :

La température à une influence notable sur le rendement d'une cellule photovoltaïque, nous remarquons que le courant de court-circuit varie peu avec la température tandis que la tension à vide est beaucoup plus influencée. La température a donc une influence non négligeable sur le rendement d'une cellule photovoltaïque (perte de puissance de l'ordre de 9-15% pour une augmentation de 30°C).

D'après une simulation d'un panneau photovoltaïque sous Matlab, On constate que pour le même éclairement 1000 w/m^2 les courbes caractéristiques (Courant / Tension, Puissance / Tension) changent avec la température des cellules. [9]

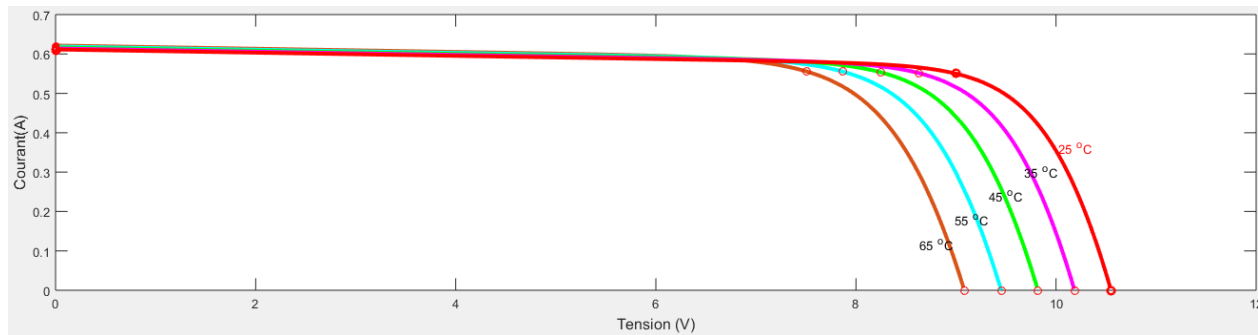


Figure 3 : Influence de la température sur le PV, $I=F(V)$

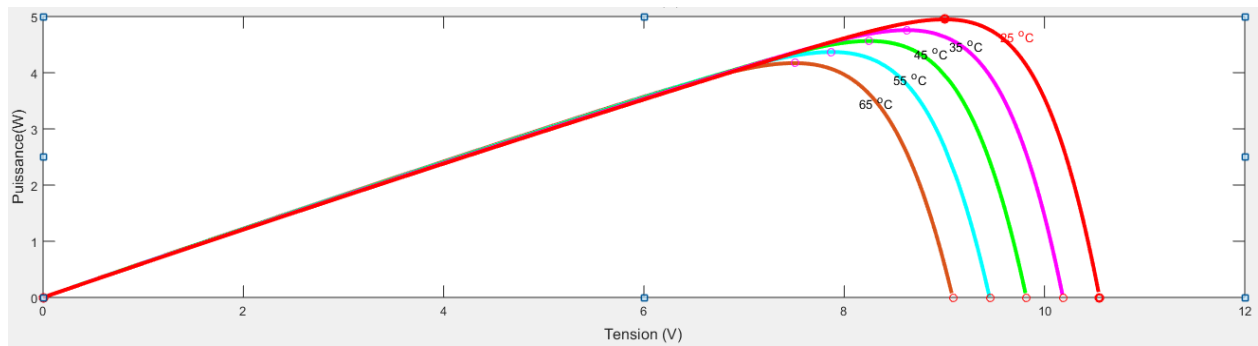


Figure 4 : Influence de la température sur le PV, $P=F(V)$

Pour diminuer la température d'opération des PV, afin d'augmenter le rendement, plusieurs techniques sont proposées et nous proposons d'étudier quatre systèmes : l'arrosage, les nano fluides, les matériaux à changement de phase et l'effet thermoélectrique.

1.4. L'arrosage

C'est une technologie développée à base d'eau pour refroidir les modules solaires lorsque leur température ambiante dépasse 25 ° C.

La solution consiste en un ensemble de conduites en réseau sur un système photovoltaïque installé en toiture ou sur une installation au sol. Les conduites sont utilisées pour pulvériser dans une rampe une fine couche d'eau sur la surface en verre des modules.



Figure 5 : Arrosage d'un panneau photovoltaïque [10]

Cette couche doit en même temps être capable de refroidir le système et ne provoque pas des chocs thermiques pour le système photovoltaïque puisque les gouttelettes produites par un tel système de refroidissement ont eu un impact négatif sur l'absorption de la lumière solaire.

Pour ce système, il faut une étude bien précise et des compétences d'installation spéciales au niveau des conduites utilisés, leur taille et forme... pour trouver le débit optimal de l'eau qui permet le refroidissement efficace du PV et qui n'impactent pas le fonctionnement des cellules.

Le système est mis en service par un capteur de température qui mesure la température des panneaux photovoltaïques. Ces mesures sont traitées par un système asservi qui va déclencher l'arrivée de l'eau lorsque la température des PV dépasse 25 °C.

Le système de refroidissement collecte l'eau d'un réservoir d'eau de pluie. Et une fois l'eau utilisée, elle peut être recyclée, filtrée et à nouveau stockée dans des citernes, afin d'être réutilisée en circuit fermé.

L'installation de ce système est trop coûteuse et dépend de trop de paramètres, en effet installer ce système en Espagne ou en Allemagne n'est pas exactement la même chose, En outre, il existe de nombreux autres facteurs liés à l'eau qui doivent être pris en compte, tels que les taux de vaporisation de l'eau, l'humidité et les ressources en eau disponibles.

Ainsi bien l'installation de ce système dépend de la taille de la centrale photovoltaïque, une centrale assez grande complique d'une manière considérable la logistique et l'installation.

1.5. Les nano fluides

1.5.1. Définition :

Les nano fluides sont des solutions constituées de particules de taille nanométrique en suspension dans un liquide porteur. En effet, les fluides de base souvent utilisés dans les dissipateurs de chaleur sont l'air, l'eau et les fluides frigorigènes qui ont des conductivités thermiques très faibles (Tableau 2.2) qui limitent leur capacité de transfert de chaleur. L'idée est alors d'insérer au sein des liquides de base des nanoparticules de conductivité très élevée (cuivre Cu, fer Fe, oxyde d'aluminium Al_2O_3 , oxyde de cuivre CuO, oxyde de titane TiO_2 ...), afin d'augmenter la conductivité thermique effective du mélange et ainsi améliorer ces performances thermiques.

Elément	Conductivité thermique $\lambda(\text{W/m.K})$
Eau	0,599
Ethylène glycol	0,25
Huile de moteur	0,14
Nanotube de Carbone	3000-6000
Cuivre (métal pur)	401
Alumine (Al_2O_3)	237

Tableau 1 : Conductivité thermique de divers fluides de base et matériaux à 20°C [11]

1.5.2. Principe :

Le système proposé contient un module photovoltaïque installé sur la paroi supérieure du canal. A l'entrée, le nano fluide (l'eau avec nanoparticules) forcé à s'écouler avec une vitesse constante à l'intérieur du canal pour refroidir les cellules photovoltaïques afin de maximiser leur rendement.

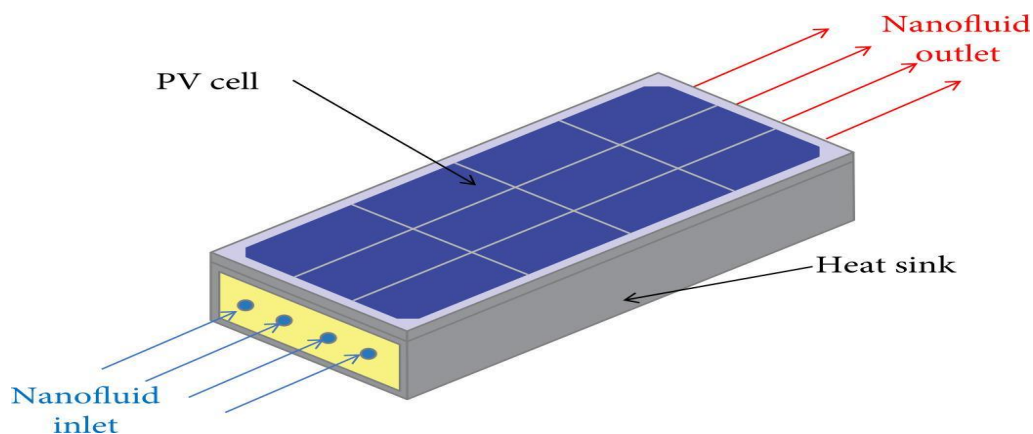


Figure 6 : Refroidissement des cellules PV avec un micro canaux à base d'un nano fluide [12]

0.5.3. L'effet de l'ajout des nanoparticules sur les propriétés du fluide de base :

- **La conductivité thermique :**

Dans la grande majorité des travaux existants, il est établi que la conductivité thermique du mélange augmente avec la température [13] et augmente d'une manière significative avec la concentration volumique des nanoparticules. Xie et Chen [14] ont mesuré expérimentalement la conductivité d'un nano fluide à base de MWCNT dispersés dans de l'éthylène-glycol pour des concentrations volumiques de 0.2%, 0.6% et 1 %. Leurs résultats montrent une amélioration de la conductivité thermique maximale de l'ordre de 12% à la fraction volumique 1%. Cependant, La présence des agglomérats ainsi que les problèmes de sédimentation des nanoparticules engendrent généralement une dégradation de la conductivité thermique des nano fluides et un risque de non stabilité du mélange. [15] [16]

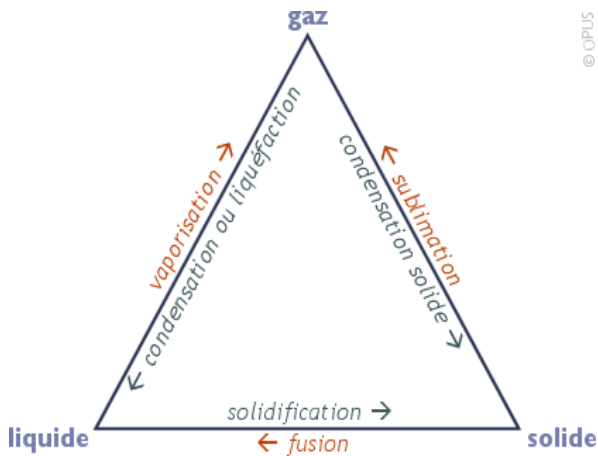
- **La viscosité dynamique :**

Les travaux de recherche [17] concernant l'effet de la concentration volumique sur la viscosité dynamique des nano fluides montrent que la viscosité dynamique augmente avec la concentration volumique. Ce qui engendre une augmentation au niveau des pertes des charges subit par le nano fluide d'où la nécessité d'une puissance de pompage plus élevée pour faire circuler ce dernier dans une installation.

1.6. Les Matériaux à changement de phase (MCP)

0.6.1. Définition :

Les matériaux à changement de phase solide-liquide se liquéfient en augmentant leur température dans une gamme bien connue. Lors du changement de phase solide-liquide, le MCP (Matériau à Changement de Phase) stocke, à une température constante de la chaleur qu'il prélève au système à refroidir. Ils absorbent l'excès d'énergie sous forme de chaleur latente jusqu'à ce que le MCP soit complètement fondu.



© OPUS

0.6.2. Principe de changement de phase :

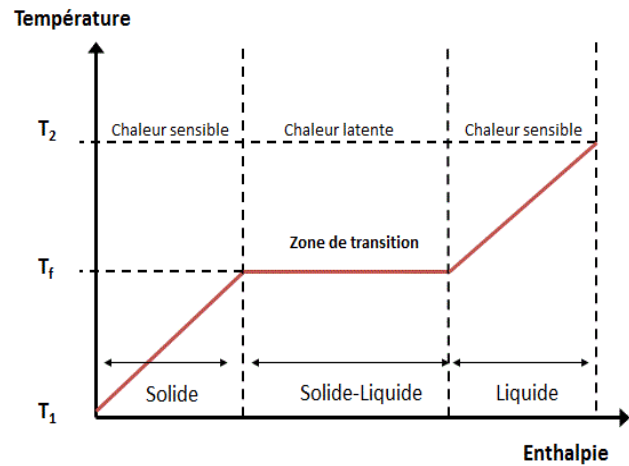


Figure 7 : Changement de phase de la matière [18]

Figure 8 : Profil de changement de phase pour le stockage par chaleur latente [19]

On distingue deux types de stockage de chaleur (ou stockage thermique) : La chaleur sensible ; l'énergie thermique transférée fait varier la température du matériau. La variation de la quantité de chaleur Q échangée par le matériau lorsqu'il passe d'un état initial à un état final est :

$$Q = m \cdot C_p (T_f - T_i) \quad (1)$$

C_p : la chaleur spécifique à pression constante du matériau [$J/^\circ K$]

M : la masse du matériau en [kg]

T_i : Température initial [$^\circ k$], T_f : Température final [$^\circ k$]

La chaleur latente, le matériau peut stocker ou céder de l'énergie. Cette énergie peut être quantifiée par la relation :

$$Q = m \cdot L_f \quad (2)$$

L_f : chaleur latente de fusion

M : la masse du matériau en [kg]

0.6.3. Principe :

La méthode ressemble à celle utilisé avec le nano fluide, c'est-à-dire monté un dissipateur rempli de matériau à changement de phase à l'arrière d'un panneau photovoltaïque afin de le refroidir. Dans ce cas, le matériau peut stocker de l'énergie qu'il absorbe du panneau par simple changement d'état, tout en conservant une température constante, celle du changement d'état.

- **Effet du MCP sur la température des cellules PV :**

Les auteurs ont montré qu'avec le bon type de matériau MCP, une diminution de $15^\circ C$ par rapport à la cellule PV de référence peut être obtenue, pendant une période de 5 heures, à une insolation de $1\,000\text{ W} / \text{m}^2$. [20]

0.6.4. Inconvénients de ces matériaux :

Les Matériaux à changement de phases présentes des inconvénients majeurs :

- ✓ Les vitesses de cristallisation sont relativement faibles. S'il faut trop de temps au matériau pour accumuler ou libérer de l'énergie, celui-ci perd alors en efficacité dans le refroidissement des cellules PV.
- ✓ La **surfusion** n'apparaît que pour certains types de MCP comme les matériaux inorganiques. C'est l'état d'une matière qui demeure en phase liquide alors que

sa température est plus basse que son point de solidification. C'est un état dit métastable, c'est-à-dire qu'une petite perturbation peut suffire pour déclencher abruptement le changement vers la phase solide.

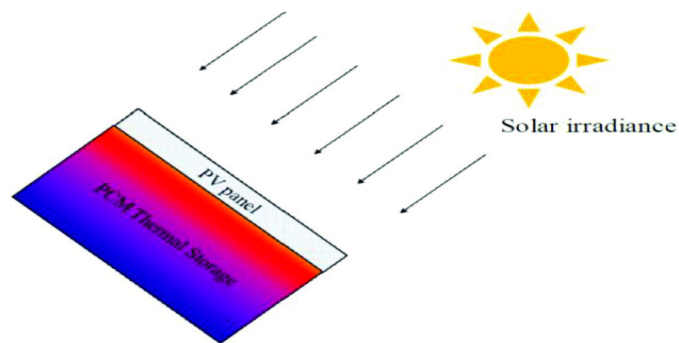


Figure 9 : système PV/MCP [21]

1.7. L'effet Thermoélectrique

0.7.1. Histoire de la thermoélectricité :

Voilà un peu plus de 170 ans que Jean-Charles Peltier a découvert un curieux phénomène : Lorsque qu'un courant électrique traverse deux conducteurs de nature différente, l'un se refroidit tandis que l'autre se réchauffe (au niveau de leur jonction respective).

Un peu auparavant, en 1821, Thomas Seebeck mettait un phénomène inverse : en effet quand deux matériaux conducteur différent sont proches l'un de l'autre, on obtient un courant électrique (certes faible) si les deux jonctions sont amenées à des températures différentes.

Lord Kelvin confirma par la suite que les deux découvertes étaient reliées à un même phénomène, aujourd'hui appelé effet thermoélectrique [22]

0.7.2. Définition :

L'effet Peltier est un phénomène physique de production de froid au niveau de la jonction de 2 conducteurs de nature différente parcouru par un courant continu.

En effet, lorsqu'un courant électrique continu passe à travers la jonction reliant deux conducteurs de nature différente, on observe un dégagement de chaleur ou une absorption de chaleur selon le sens du courant. Ceci est traduit par l'équation suivante [23] :

$$Q = \Pi \times I \quad (3)$$

Q : quantité de chaleur en Joule.

I : intensité du courant électrique en Ampère.

Π : coefficient Peltier entre les conducteurs 1 et 2.

0.7.3. Description :

Les modules Peltier sont composés de plusieurs couples thermoélectriques élémentaires connectés électriquement. Chaque couple est constitué d'un matériau semi-conducteur de type P et d'un matériau semi-conducteur de type N réunis par un pont métallique conducteur. Les semi-conducteurs utilisés sont fabriqués à base de différents matériaux : l'alliage d'antimoine et de tellure (Sb_2Te_3), l'alliage de plomb et de tellure (PbTe) et l'alliage de bismuth et de tellure (Bi_2Te_3). Cependant, seul le dernier est utilisé dans la fabrication des modules Peltier pour la réfrigération.

Ensuite, les deux branches (P et N) du couple et tous les autres couples composant le module sont connectés en série électriquement et en parallèle thermiquement afin d'optimiser le flux de chaleur qui traverse le module.

Les couples sont maintenus solidaires par deux plaques de céramique qui assurent l'isolation électrique tout en garantissant de bons transferts thermiques [24]

La figure ci-dessous donne une représentation des modules Peltier.

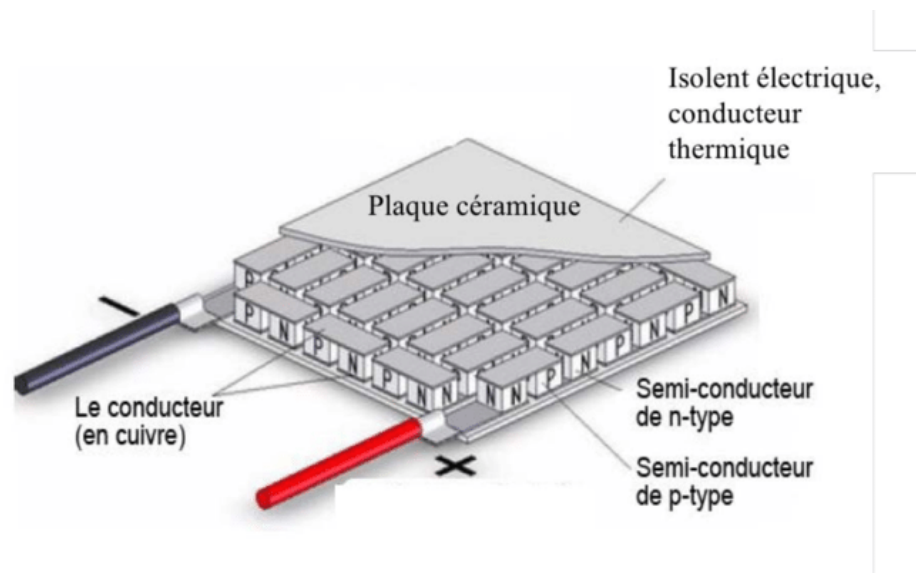


Figure 10 : Composition d'un module Peltier [25]

0.7.4. Principe :

Pour passer de la soudure métallique vers le semi-conducteur de type N, les électrons doivent vaincre une barrière énergétique caractérisée par la différence d'énergie entre la bande de conduction et le niveau de Fermi (niveau de Fermi est proche de la limite supérieure d'une bande, et que l'intervalle d'énergie interdite situé au-dessus du niveau est étroit, le solide est un semi-conducteur, comme le silicium) [26].

Ce sont donc les électrons de plus grande énergie, ou les électrons les plus « chaud » qui sont les plus propices pour surpasser cette barrière énergétique et entrer dans le matériau de type N.

Ces électrons vont ensuite traverser l'élément de type N puis passer dans la soudure opposée sans rencontrer d'autre barrière énergétique. Il en résulte donc un transfert des électrons de plus haute énergie d'un côté à l'autre de l'élément de type N et donc un transfert de chaleur.

Le courant électrique est ainsi accompagné d'un flux thermique qui va s'opposer à la conduction thermique. Dans les éléments de type P, les porteurs de charges majoritaires sont les trous. De la même manière, il existe un transfert des trous de plus haute énergie d'un côté à l'autre de l'élément de type P et donc un transfert de chaleur.

Dans les modules thermoélectriques, le circuit électrique est conçu en reliant en série alternativement des éléments de type P et de type N, de telle sorte que toutes les jonctions P-N soient situées sur une face tandis que les jonctions N-P sont sur l'autre face. Ainsi le transfert des trous et des électrons de haute énergie est unidirectionnel, il y a donc un transfert de chaleur d'une face à l'autre.

Si le sens du courant est inversé, les jonctions P-N deviennent des jonctions N-P, l'absorption de chaleur se fera sur la face opposée [24].

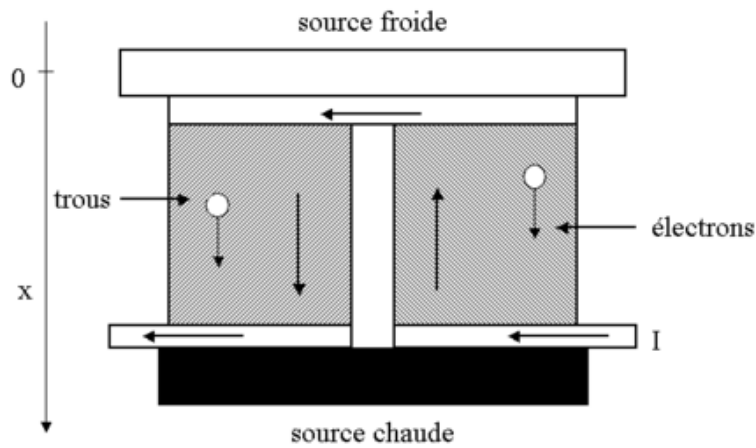


Figure 11 : Fonctionnement d'un module Peltier [27]

0.7.5. Combinaison panneau photovoltaïque et module Peltier :

Le système est basé sur l'intégration d'un module Peltier sous la cellule PV afin de la refroidir. Ce dispositif constitue un module hybride photovoltaïque-thermoélectrique (PV-TE) faisant intervenir simultanément l'effet photovoltaïque et l'effet Peltier.

Le module thermoélectrique est placé en dessous de la cellule PV, de façon à ce que sa face supérieure soit en contact avec la face inférieure de la cellule PV. Lorsque le courant électrique traverse le module thermoélectrique, il apparaît suite à l'effet Peltier une différence de température sur ses deux faces (supérieure et inférieure). Selon le sens du courant, de la chaleur peut être absorbée à la jonction froide ou émise à la jonction chaude. Dans cette étude, le module thermoélectrique va refroidir et stabiliser La température à 25°C de la cellule solaire ainsi améliorer son rendement.

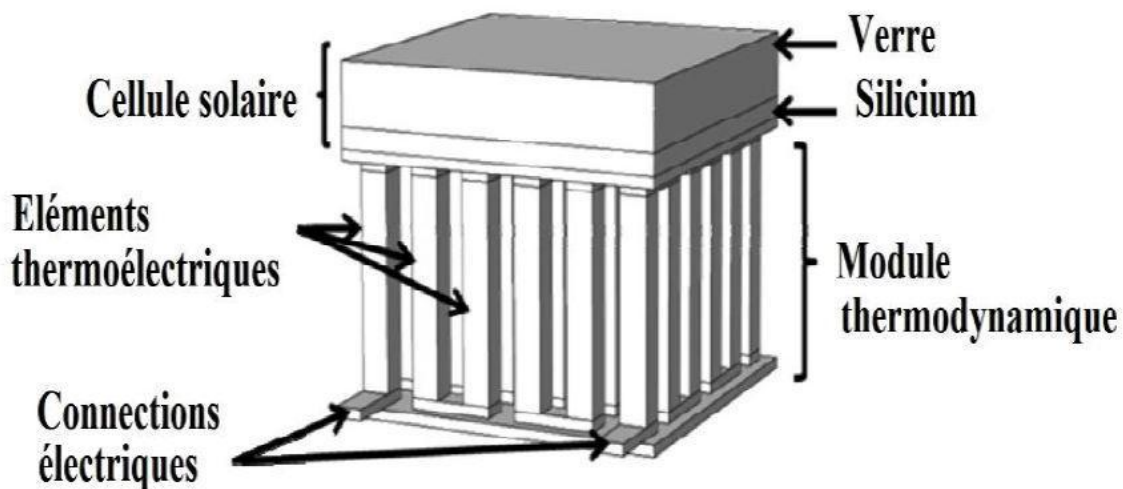


Figure 12 : Système PV-Peltier [28]

1.8. Comparaison entre les quatre systèmes

	Avantages	Inconvénients
L'arrosage	• Cycle fermé	• Régulation de température non précise et non contrôlée. • Taux de vaporisation de l'eau. • L'humidité. • Disponibilité des ressources en eau. • Nécessite l'étude de l'espace
Les nano fluides	• Augmentation du flux de chaleur	• Régulation de température non précise et non contrôlée. • Affectation sur la viscosité du fluide et augmentation des pertes de charges □ Puissance de pompes plus élevée. • Risque de l'agglomération et l'influence sur la stabilité du mélange. • Difficulté de la préparation des nano fluides.
Les matériaux à changement de phase	• Ne nécessite pas une alimentation □ Système indépendant	• Régulation de température non précise et non contrôlée. • Dépend du climat. • Coût élevé. • Surfusion. • Cinétique de cristallisation. • Encapsulation des MCP □ Diminution du transfert de flux de chaleur. • Discontinuité de refroidissement.
L'effet Peltier	• Régulation Précise de la température. • Silencieuses, facile à utiliser. • Peu encombrantes, de petites tailles, compactes et légères. • Écologiques car ils n'utilisent pas de fluides réfrigérants • Pas d'entretien.	• Dispersion élevée de chaleur □ risque de surchauffement.

Tableau 2 : Comparaison entre les quatre systèmes

1.9. Conclusion

D'après cette comparaison, on voit clairement que les modules Peltier nous permettent de stabiliser la température du panneau photovoltaïque à 25°C et par conséquent maximiser le rendement de ce dernier, avec une mise en forme facile en comparaison avec les autres systèmes.

Nous avons choisi à travailler avec les modules Peltier afin de refroidir le panneau photovoltaïque, nous allons voir dans les chapitres suivants l'effet de ce système sur le rendement d'un panneau photovoltaïque.

Chapitre 2 :

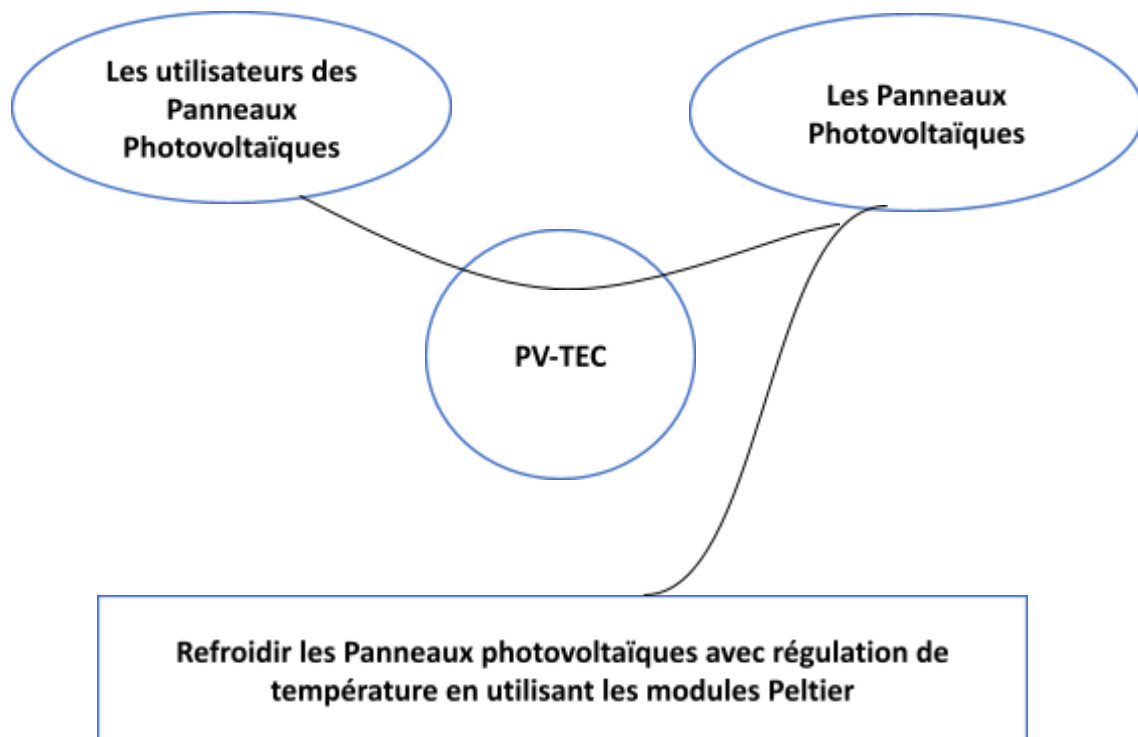
Description et étude théorique du système Panneau photovoltaïque combiné avec Peltier

2.1. Introduction

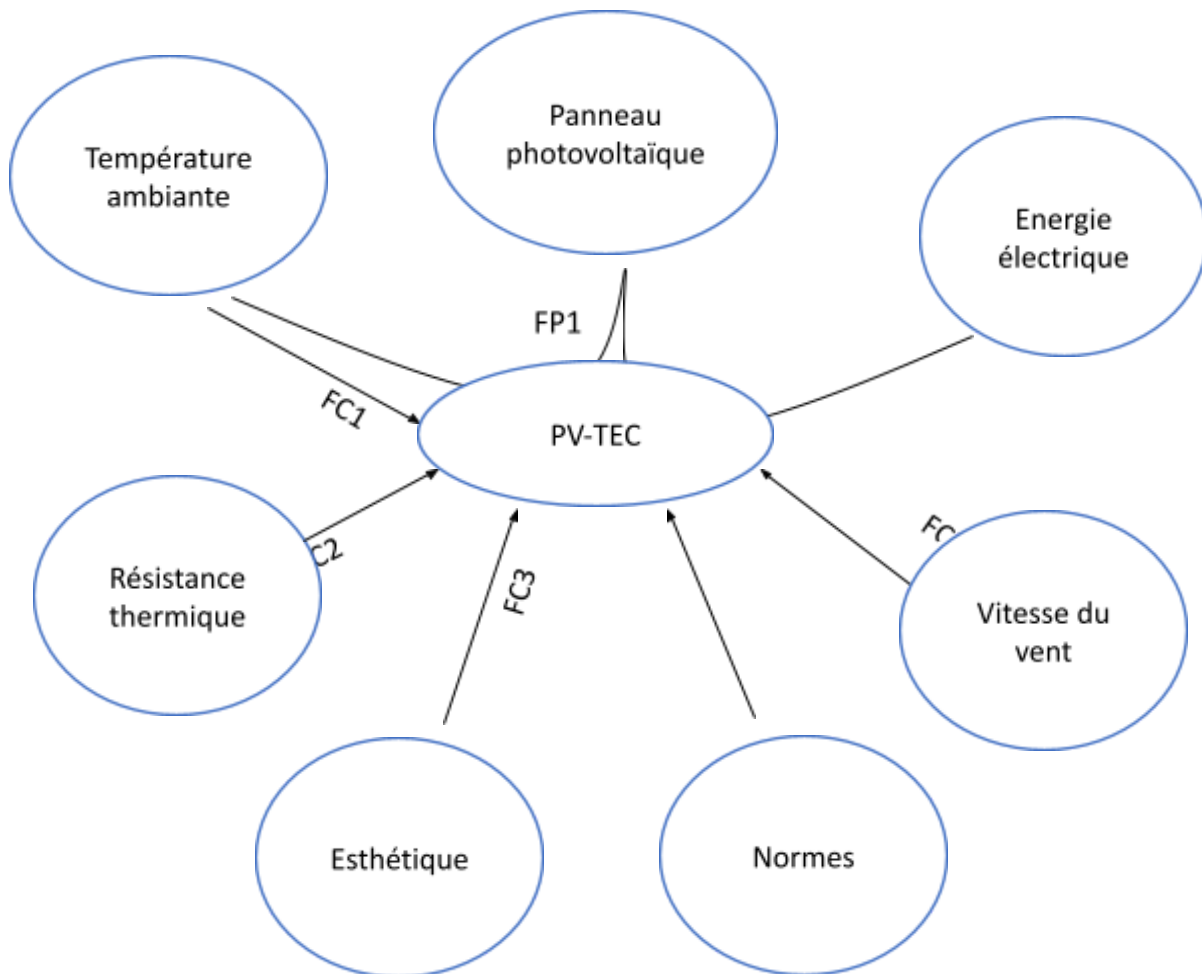
Le système étudié sera composé d'une plaque d'Aluminium afin de faciliter la conduction et la diffusion de la chaleur donnée par le module Peltier au panneau photovoltaïque, des modules Peltier, d'un dissipateur qui sera chargé pour évacuer l'excès de la chaleur dissipée par la face chaude du module Peltier, et bien sûr d'une unité de contrôle qui va commander les Peltier afin de maintenir la température du panneau à 25°C.

2.2. Analyse fonctionnelle du système :

2.2.1. Diagramme de bête à cornes



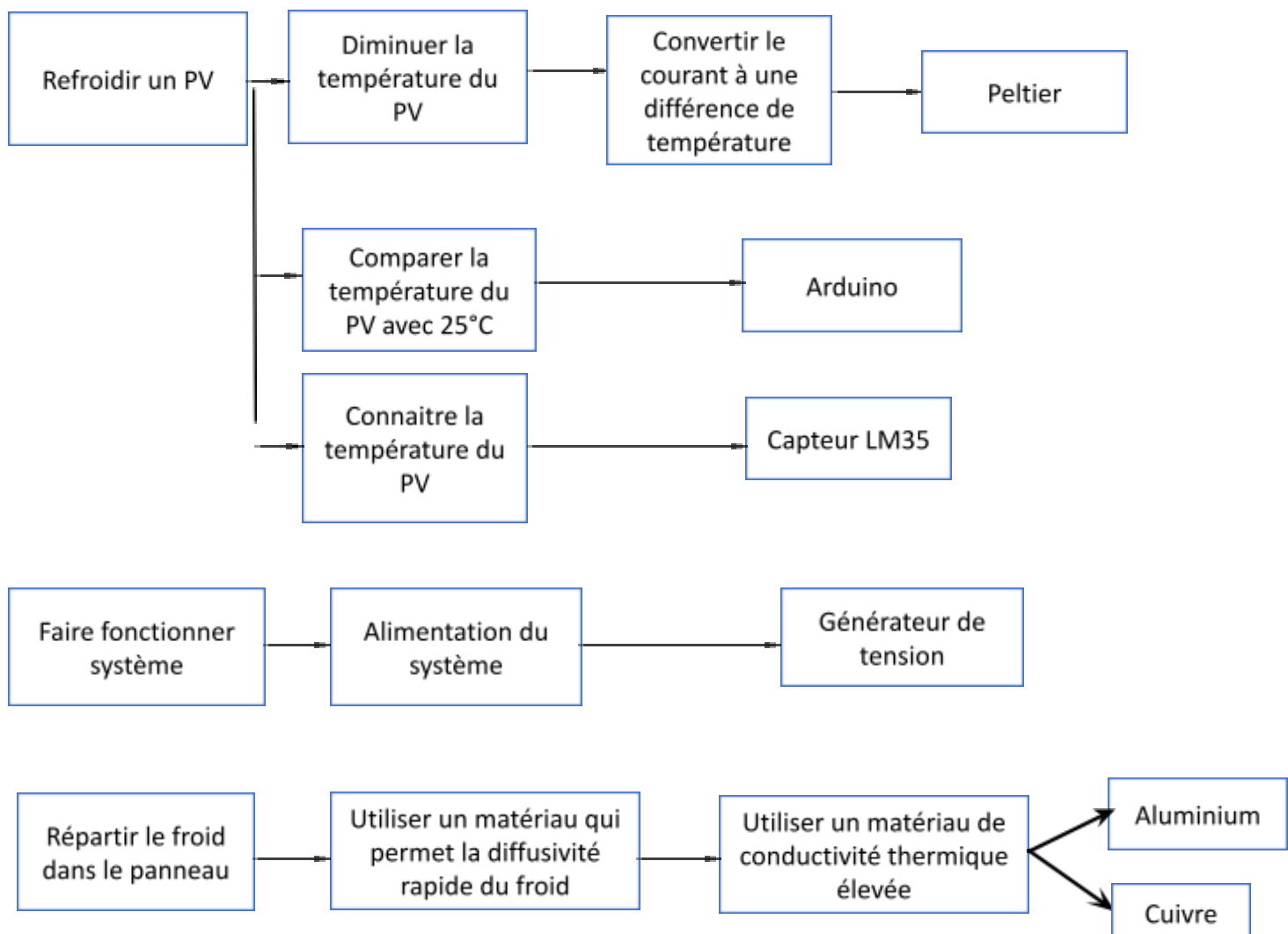
2.2.2. Diagramme de pieuvre :

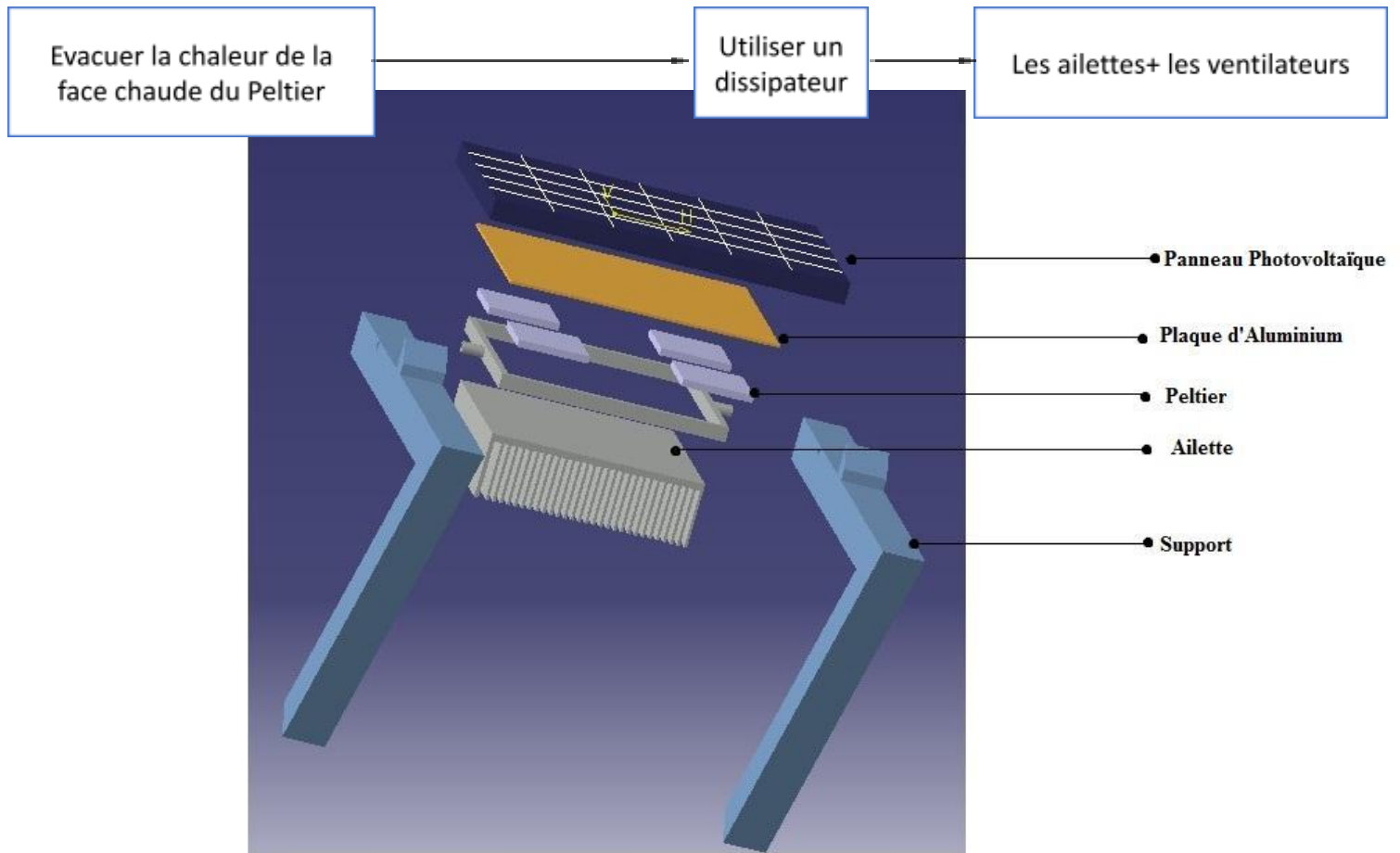


Fonctions	Description	Critère d'appréciation	Niveau d'exigence
FP1	Diminuer la température du panneau photovoltaïque	-température du PV -courant qui passe dans le Peltier	- $T > 25^{\circ}\text{C}$ - $0 < I < I_{\text{max}}$
FC1	Agir sur l'évacuation de la chaleur au niveau du dissipateur monté à la face chaude du Peltier	-température ambiante	$< 35^{\circ}\text{C}$

FC2	Utiliser des matériaux à résistance thermique faible afin de faciliter la dissipation du froid dans le panneau	-conductivité thermique élevée	200_400 w/m.k
FC3	Faciliter la mise en œuvre du système pour l'utilisateur	-Forme -Volume	
FC4	Respecter les valeurs maximales du courant, différence de température, tension supportée par le module Peltier	-courant maximal -température maximale -tension maximal	-I _{max} -T _{max} -V _{max}
FC5	Augmenter la dissipation de la chaleur au niveau des ailettes afin d'évacuer la chaleur du côté chaud du module Peltier	-vitesse du vent	

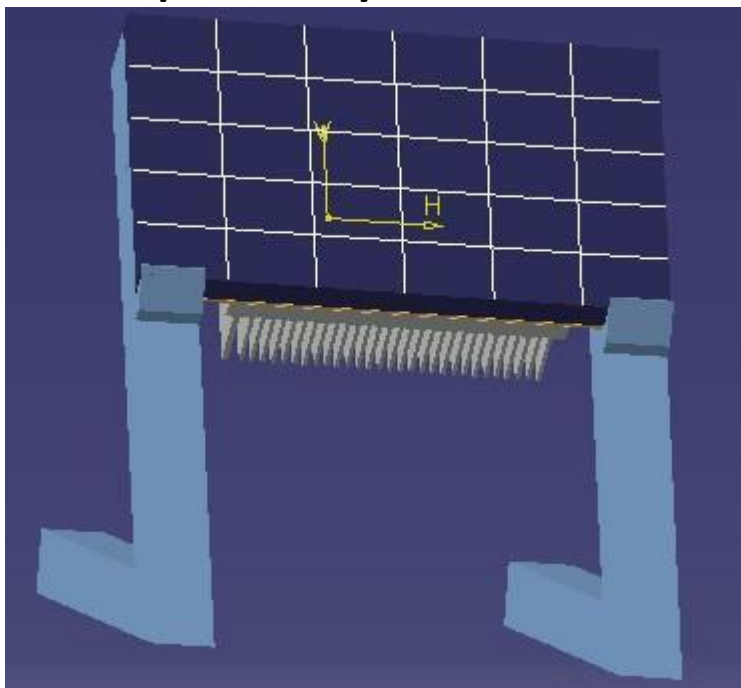
2.2.3. Diagramme FAST :





2.3. Description du système sur CATIA

entre
et des
est



Les figures au-dessous
présentent la combinaison
un panneau photovoltaïque
modules Peltier, ce montage
fait à l'aide du logiciel CATIA

2.4. Paramètre du module Peltier TEC 12705

Th (°C)	I _{max}	V _{max} (à Q _c =0)	Q _c _{max} (à ΔT=0)	ΔT _{max} (à Q _c =0)
35	5	14,4	39.2	67

Les performances thermoélectriques de chaque module à effet Peltier dépendent des paramètres physiques des matériaux constitutifs. Ils influencent directement les flux de chaleur du module. Leur connaissance est alors indispensable pour la modélisation de celui-ci. Ces paramètres sont :

- le coefficient Seebeck α ,
- la résistance électrique interne R_p ,
- et la conductance thermique K_p .

Si I est le courant électrique appliqué au module, T_c la température sur sa face froide, et T_h la température sur sa face chaude, l'expression de la chaleur absorbée par la face froide Q_c , et celle de la chaleur dégagée par la face chaude Q_h s'écrivent respectivement :

$$Q_c = \alpha T_c I - \frac{1}{2} R_p I^2 - K_p (T_h - T_c) \quad (1.1)$$

$$Q_h = \alpha T_h I + \frac{1}{2} R_p I^2 - K_p (T_h - T_c) \quad (1.2)$$

La tension mesurée V_{mes} aux bornes du module est :

$$V_{mes} = V_{Seeb} - RI = \alpha (T_h - T_c) - RI \quad (1.3)$$

Où $V_{Seeb} = \alpha (T_h - T_c)$ est appelée tension Seebeck.

La puissance consommée par ce module est :

$$P_e = \alpha I (T_h - T_c) + R_p I^2 \quad (1.4)$$

Ces équations décrivent le fait que les flux de chaleur d'un module à effet Peltier comportent :

- l'effet Peltier, αT_c , αT_h ;
- l'effet Joule, $R I^2 / 2$;
- la conduction de chaleur à travers le module, $k_p (T_h - T_c)$.

Afin de modéliser le module Peltier, nous calculons sa résistance électrique R_p , son coefficient Seebeck α , et sa conductance thermique k_p à l'aide des équations de fonctionnement (1.1) à (1.3) appliquées au module, et du tableau 1.1 fourni par le constructeur. Les valeurs présentées dans ce tableau ont été obtenues quand la température sur la face chaude T_h du Peltier est de 35°C (308 K)

Quand la chaleur traversant la face froide du Peltier est maximale (Q_{max}), la différence de température entre ses faces devient nulle ($\Delta T = 0$), soit $T_h = T_c$. La résistance électrique R_p peut alors être facilement dégagée de (1.3). En appliquant les valeurs maximales de la tension et du courant, elle s'écrit :

$$R_p = \frac{V_{max}}{I_{max}} \quad (1.5)$$

Le courant I est maximal lorsque la dérivée de l'équation de la chaleur (1.1) par rapport au courant est nulle, soit :

$$I_{max} \text{ pour } \frac{\partial Q_c}{\partial I} = 0 \quad \text{avec } \frac{\partial Q_c}{\partial I} = -\alpha T_c + R_p I \quad (1.6)$$

Toujours en considérant $\Delta T = 0$, le coefficient Seebeck peut se calculer à partir de (1.6) :

$$\alpha = \frac{R_p \cdot I_{max}}{T_c} \quad (1.7)$$

La conductance thermique k_p peut être dégagée de (1.1). Si la chaleur traversant la face froide est nulle ($Q_c = 0$), la différence de températures entre les deux faces est maximale. Alors :

$$k_p = \frac{\alpha \cdot T_c \cdot I_{max} - \frac{R_p \cdot (I_{max})^2}{2}}{\Delta T_{max}} \quad (1.8)$$

Le calcul des valeurs numériques des équations (1.5) à (1.8) est effectué en utilisant les valeurs du tableau 1.1. Les résultats obtenus sont donnés par :

T_h (°C)	α (V/K)	K_p (W/K)	R_p (Ω)
35	0.04675	0.303	2.88

Tableau 4 : Les paramètres d'un module Peltier 12705 à la température 35°C

On va considérer que ces paramètres sont constants et ne dépend pas de la température de la face chaude du module Peltier par la suite afin de simplifier le calcul.

D'après l'équation (1.3) : $V = a \Delta T + b$ (1.9)

D'après l'équation (1.1) : $Q_c = a' \Delta T + b'$ (1.10)

En fixant $T_h = 35^\circ\text{C}$, $I = 5\text{A}$;

D'après ces équations, on peut conclure que :

$$a = \alpha \quad \text{et} \quad b = R_p \cdot I \quad (1.11)$$

$$a' = -K_p - \alpha I \quad \text{et} \quad b' = \alpha I \cdot T_h - \frac{R_p \cdot I^2}{2} \quad (1.12)$$

$T_h (^\circ\text{C})$	$I(\text{A})$	$a \text{ (v/k)}$	$b \text{ (v)}$	$a' \text{ (w/k)}$	$b' \text{ (w)}$
35°C	5A	0.04675	14.4	-0.53675	35.995

Tableau 5 : Les coefficients de la chaleur et la tension du Peltier déterminés théoriquement

En utilisant les courbes déjà tracés dans la datasheet dans l'annexe de notre module Peltier on trouve :

$T_h (^\circ\text{C})$	$I(\text{A})$	$a \text{ (v/k)}$	$b \text{ (v)}$	$a' \text{ (w/k)}$	$b' \text{ (w)}$
35°C	5A	0.002238	12	-0.5939	39.2

Tableau 6 : Les coefficients de la chaleur et la tension du Peltier déterminés expérimentalement

2.5. Les caractéristiques des panneaux photovoltaïques de l'étude

Model	5W
Pm	5W
Vmp	9V
Imp	0.55A
Voc	10.55V
Isc	0.61A
Dimension	255*195*17*17 mm

Tableau 7 : Les caractéristiques du panneau acheté (5w)

Max system voltage	1000V
STC	1000W/m ² , AM1.5, 25°C

Conditions STC (Standard Test Conditions) :

- Niveau d'éclairement du module : 1000 W/m²
- Température des cellules : 25°C

2.6. Puissance consommée par Peltier

Afin de maintenir la température du panneau photovoltaïque à 25°C, il faut absorber l'excès de la chaleur fourni par le PV.

L'expression de cette chaleur est sous la forme :

$$\begin{aligned}
 Q_{PV} &= m_{PV} \cdot C_{PV} \cdot \Delta T \\
 Q_{PV} &= m_{PV} \cdot C_{PV} \cdot (T_f - T_{PV}) \\
 Q_{PV} &= m_{PV} \cdot C_{PV} \cdot (298 - T_{PV})
 \end{aligned} \tag{3.1}$$

D'après le principe Zéro de la thermodynamique, on aura un équilibre entre le panneau et son environnement.

Chaleur perdue par le PV + chaleur absorbée par l'Aluminium est nulle

Effectuons un bilan thermique sur le système Peltier +Aluminium+ Panneau photovoltaïque.

Les hypothèses :

- On ne considère que la conduction monodimensionnelle (la conduction se fait dans une seule direction)
- Résistance de contact PV-aluminium négligeable
- Résistance de contact Aluminium-Panneau négligeable

La résistance de l'aluminium : $R_{Al} = \frac{e}{K_{Al} S^2}$ (3.2)

Le flux que l'Aluminium laisse passer :

Loi de Fourier : $Q = \frac{T_{pv} - T_c}{R_{Al}}$ joule/second (3.3)

Principe Zéro :

$$Q_{PV} + Q_{Al} = 0 \tag{3.4}$$

$$m_{PV} \cdot C_{PV} (T_{PV} - 298) = \frac{T_{PV} - T_c}{R_{Al}} \cdot t \tag{3.5}$$

En fixant $T_h=35^\circ\text{C}$ et $I=5\text{A}$.

On peut obtenir la température T_c à partir de la caractéristique du module Peltier, en cherchant ΔT_{max} que Peltier peut fournir sous les conditions T_h et I imposées.

On sait que :

$$V_{\text{mes}} = \alpha \cdot \Delta T + R \cdot I = \alpha \cdot (T_h - T_c) + R \cdot I \quad (3.6)$$

D'après l'équation (3.5), le temps nécessaire qui va nous permettre pour maintenir la température du panneau photovoltaïque à 25°C est :

$$t = \frac{m_{PV} \cdot C_{PV} (T_{PV} - 298)}{T_{PV} - T_c} R_{Al} \quad (3.7)$$

La puissance du N Peltiers est une puissance maximale et constante dans le temps, elle est sous la forme :

$$P = N \cdot V_{\text{mes}} \cdot I = N \cdot [\alpha (T_h - T_c) + R \cdot I] \quad (3.8)$$

L'énergie consommée par Peltier dans un temps t pour maintenir la température du PV à 25°C :

$$C = P \cdot t = \frac{m_{PV} \cdot C_{PV} (T_{PV} - 298)}{T_{PV} - T_c} R_{Al} \cdot N \cdot [\alpha (T_h - T_c) + R \cdot I] \quad (3.9)$$

Pendant ce temps qu'on a calculé le PV nous donne une puissance P_A quand il est à T_{PV} , donc une énergie :

$$E_{\text{in}} = P_{\text{in}} \cdot t$$

Et une puissance P_{max} quand il est à 25°C , donc une énergie :

$$E = E_{\text{max}} - C = P_{\text{max}} \cdot t - \frac{m_{PV} \cdot C_{PV} (T_{PV} - 298)}{T_{PV} - T_c} R_{Al} \cdot N \cdot [\alpha (T_h - T_c) + R \cdot I] \quad (3.10)$$

Pour obtenir C_{PV} :

- En se basant sur l'expérience de la calorimétrie adiabatique et un thermocouple, mais cette méthode n'est pas précise et il peut nuire au fonctionnement du panneau photovoltaïque
- En utilisant des instruments (ATD : analyse thermo différentielle/ DSC : differential scanning calorimetry)

Vu la difficulté, on n'a pas pu mesurer la chaleur spécifique du panneau photovoltaïque C_{pv} et donc on n'est pas arrivé à calculer l'énergie consommée par Peltier.

2.7. L'effet du système sur le fonctionnement du panneau

D'après la littérature, Peltier a la capacité de maintenir la température du panneau photovoltaïque à 25°C en absorbant l'excès de la chaleur dissipée par le PV qu'on il dépasse 25°C, ce maintien de température provoque une augmentation de la puissance à la sortie du panneau en évitant les diminutions de cette puissance quand la température dépasse 25°C et par conséquent une augmentation du rendement du PV.

2.7.1. L'effet du système sur le panneau acheté de 5w :

Les graphiques suivants représentent la puissance de sortie du PV solaire pour différentes températures de fonctionnement, et les puissances de sortie lorsque le PV a subi un refroidissement par effet Peltier.

A la température de fonctionnement de $T = 308\text{ K}$, la puissance maximale de sortie de la cellule est de $P_{\max} = 4.74\text{ W}$. Lorsque le module thermoélectrique est alimenté avec un courant I , cette température s'abaisse à $T = 298\text{ K}$ et par conséquent la puissance de sortie est améliorée pour atteindre $P_{\max} = 5\text{ W}$.

De même aux températures de fonctionnement de, $T = 318\text{ K}$, $T = 328\text{ K}$, et $T = 338\text{ K}$, la puissance de sortie de la cellule est de $P_{\max} = 4.54\text{ W}$, $P_{\max} = 4.35\text{ W}$, $P_{\max} = 4.126\text{ W}$, respectivement.

Ces puissances ont été améliorées en refroidissant la cellule à la température de $T = 298\text{ K}$ avec l'effet Peltier. Avec ce système de refroidissement, la température ambiante a été obtenue et par conséquent une puissance maximale de sortie de $P_{\max} = 5\text{ W}$ a été rétablie.

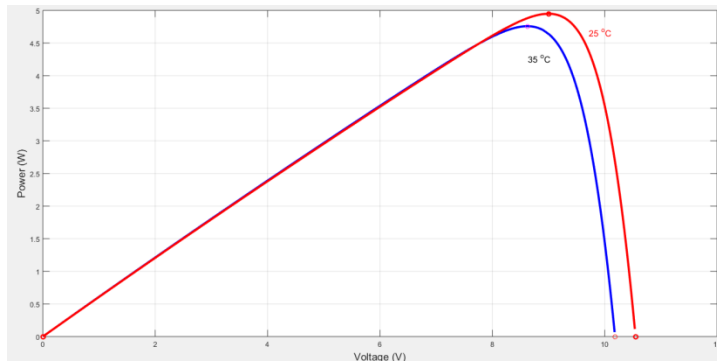


Figure 16 : Influence du système Peltier sur le PV à 45°C

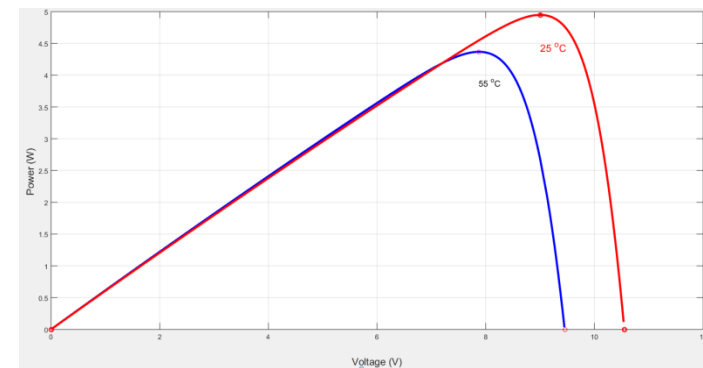
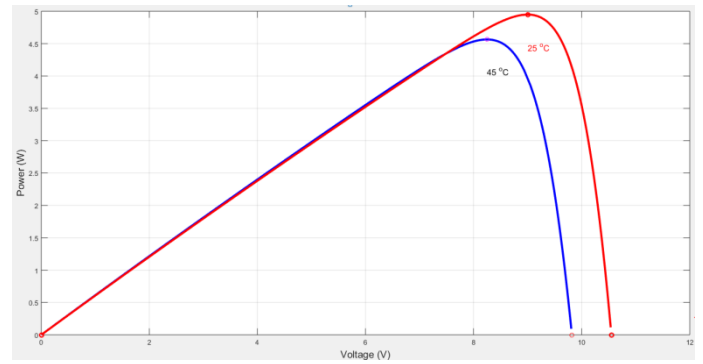
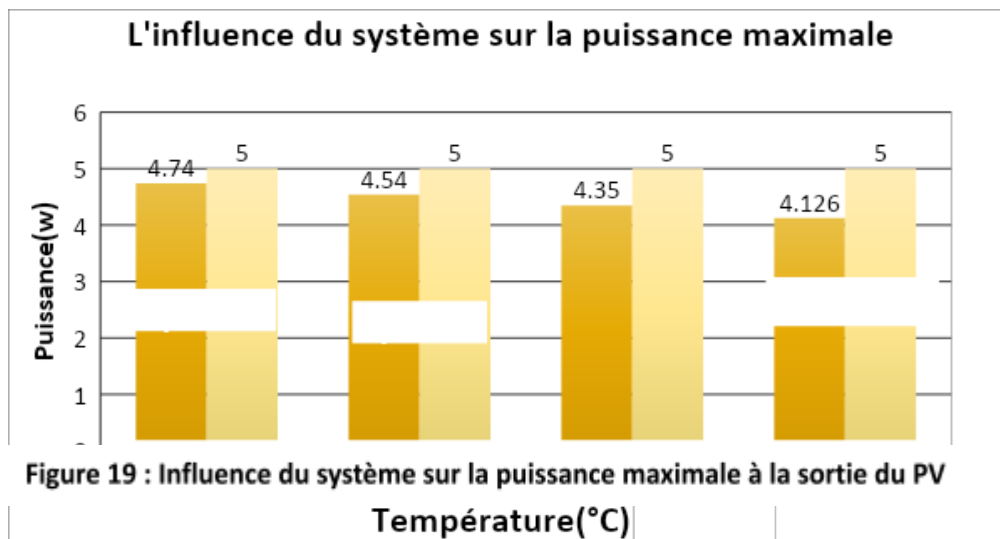
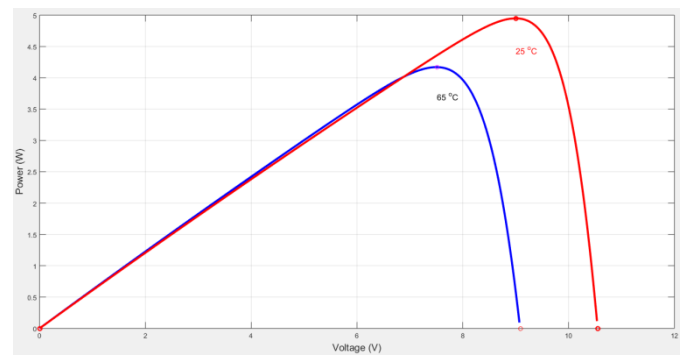


Figure 18 : Influence du système Peltier sur le PV à 65°C



η : le

pourcentage d'augmentation de la puissance à la sortie du panneau en passant de la température du PV dans le fonctionnement sans système (35°C, 45°C, 55°C, 65°C) à 25°C quand le panneau est combiné avec le module Peltier.

Chapitre 3 :

Dimensionnement et étude expérimentale de la combinaison des panneaux photovoltaïques et du module Peltier

3.2. Le choix du système contrôleur du module Peltier

Afin de dimensionner notre système on a étudié 3 systèmes pour le contrôle du Peltier pour choisir par la suite le plus adapté à la fois à l'objectif de notre étude et au matériel disponibles.

2.1.1. Système1 : PID contrôleur :

Ce système est composé de deux unités ; unité de détection de la température et unité de contrôle de la température en utilisant un microcontrôleur.

L'unité de détection de température continue de détecter la température actuelle du panneau photovoltaïque et de la renvoyer au microcontrôleur. L'unité de contrôle démarre lorsque le microcontrôleur reçoit la température souhaitée de l'utilisateur. Il existe un algorithme de contrôle PID implémenté à l'intérieur du microcontrôleur qui émet le signal de contrôle basé sur la température actuelle détectée par la thermistance et la température souhaitée (25°C). Considéré comme l'un des meilleurs contrôleurs d'utilisation courante dans les systèmes de contrôle industriels, le contrôleur PID peut fournir une conception d'action de contrôle pour des exigences de processus spécifiques en réglant les trois paramètres. Les trois paramètres sont les valeurs proportionnelles (P), intégrale (I) et dérivée (D). « P » dépend de l'erreur actuelle, « I » de l'accumulation des erreurs passées et « D » suit les tendances des erreurs futures. La somme pondérée de ces trois valeurs fournit le signal de commande à la plaque Peltier.

Et comme ce système coute trop chers afin d'intégrer l'algorithme PID pour la correction de la sortie pour être en accord avec l'entrée, on ne va pas l'utiliser.

2.1.2. Système2 : Programmation Arduino :

Ce système est composé de deux unités ; unité de détection de température et unité de contrôle de température.

Dans ce système l'unité de détection de température composé d'un capteur détecte en continue la température du PV et l'envoyer à l'unité de contrôle qui est composée d'une carte

Arduino qui va activer le module Peltier en lui en donnant l'alimentation si la température détectée est supérieure à 25°C et le désactive en lui en coupant l'alimentation si la température est inférieure à 25°C, on prend en considération la sensibilité du module Peltier soit en imposant un temps d'attente dans le programme Arduino avant la commutation à l'autre mode ou bien changer les conditions et augmenter la plage de température pour passer d'un mode à l'autre.

L'inconvénient de ce système est l'alimentation donnée par Arduino, tel qu'on trouve à la sortie 5V et 40mA délivrée par chaque voie au maximum, ce qui nous donne une puissance de 0.2w qui n'est pas suffisante pour l'alimentation du Peltier.

2.1.3. Système3 : Programmation Arduino+ alimentation Vcc :

Ce système est semblable au Système2, il est basé sur deux unités l'une de détection et l'autre de contrôle de la température.

Le même processus parcouru par l'unité de détection du système2, mais dans ce système la carte d'Arduino est chargée pour commander et contrôler une alimentation externe de 12v donnée au Peltier, tel que si la température est inférieure à 25°C la carte Arduino en basant sur un MOSFET va couper l'alimentation donnée au Peltier et elle va la laisser si la température du PV dépasse 25°C.

Aussi bien, ce système va prendre en considération la sensibilité du Peltier en augmentant à la fois la plage de température pour laquelle l'Arduino commute entre les deux modes et le temps d'attente entre deux analyses successives de la température détectée.

Nous avons choisi de travailler avec ce système puisqu'il nous permet de commander Peltier en sécurité

3.3. Liste des matérielles :

Pour la réalisation, on est besoin de :

- Panneau photovoltaïque
- Carte Arduino méga 2560
- 2 Peltier TEC 12705
- Capteur LM35
- Dissipateur : Ailette

- 2 MOSFET IRF520
- 2 transformateurs 12v 5A
- Générateur 9v
- Plaque d'Aluminium
- Pate thermique
- Plaque d'essai (Breadboard)
- Les fils de liaison et des résistances
- 2 ventilateurs
- Générateur 6v 1A

3.4. Branchement du système :

En basant sur le matériel cité auparavant, on a réalisé le schéma du branchement, à l'aide du logiciel « Fritzing », qui va nous permettre de contrôler les modules Peltier.

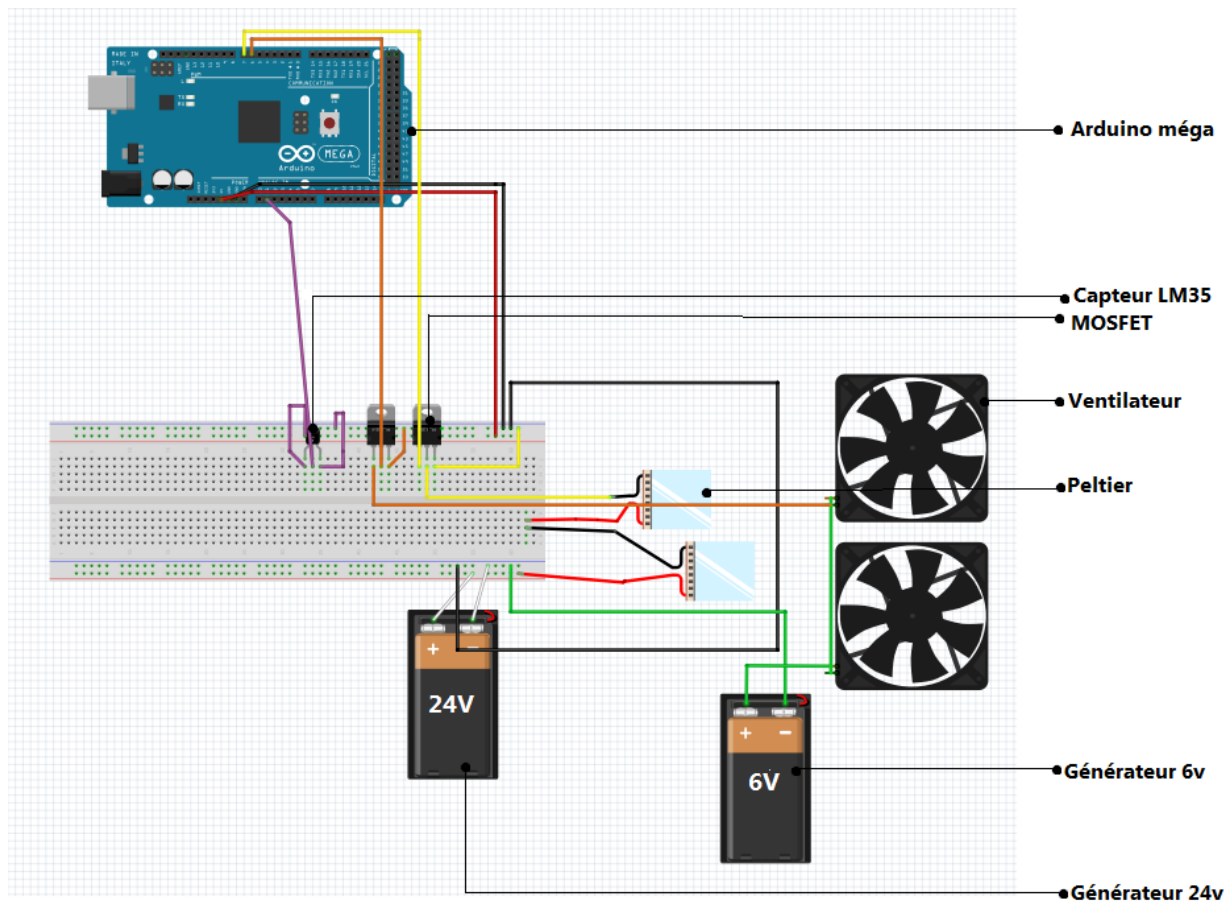


Figure 20 : Branchement du système

• Programme Arduino

Le programme Arduino utilisé est détaillé dans l'annexe.

Dans ce programme Arduino on a inclus plusieurs contraintes à respecter afin de commander le module Peltier pour qu'il travaille quand la température est supérieure à 25°C et s'arrête lorsque la température devient inférieure à 25°C, mais comme Peltier est très sensible à la perturbation brusque on a augmenté la marge de température qui va le permettre de basculer du mode ON au mode OFF. En effet, on commande le fonctionnement du MOSFET qui va jouer le rôle d'un interrupteur commandé. Ainsi, on va utiliser des ailettes et des ventilateurs afin d'évacuer la chaleur de la face chaude.

Pour des raisons d'optimisation d'énergie consommée par le système, nous n'avons pas utilisé au premier temps les ventilateurs pour évacuer l'excès de la chaleur dissipé par la face chaude du Peltier. Durant l'expérience, nous avons remarqué le transfert de la chaleur entre la

face chaude et la face froide dû à la conduction thermique ; l'ailette seule n'était pas suffisante ce qui influence la génération du froid et l'échauffement de la face froide du Peltier.

Pour bien éclairer le phénomène en prend l'exemple suivant :

En fixant $v=15V$, $I= 5A$; le Peltier va nous assurer une différence de température de l'ordre de $70^{\circ}C$, si on garde la température de la face chaude à $25^{\circ}C$ on va obtenir $T_c \approx -45^{\circ}C$, mais si on n'évacue pas cet excès, la température de la face chaude peut atteindre $100^{\circ}C$ et donc $T_c \approx 30^{\circ}C$.

Afin d'obtenir une basse température sur la face froide, on doit baisser la température de la face chaude d'où la nécessité de l'intégration des ventilateurs qui seront commandés de tel sorte qu'ils travaillent dès que le Peltier fonctionne et s'arrête après 30S de l'arrêt du Peltier pour éviter le problème de la conduction entre la face chaude et la face froide du Peltier et le réchauffement du PV.

3.4. Le système réalisé :



Figure 21 : Système réalisé



Figure 22 : Système réalisé

3.5. Le fonctionnement du panneau photovoltaïque

3.5.1. Sans système :

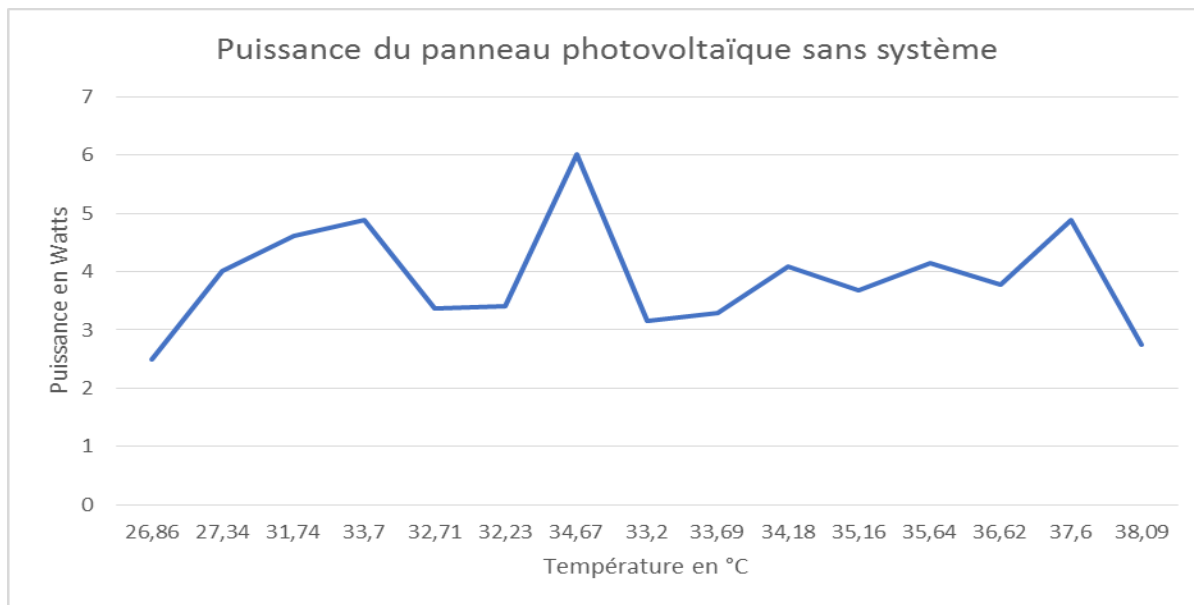


Figure 23 : Puissance du panneau photovoltaïque sans système

3.5.2. Avec système :

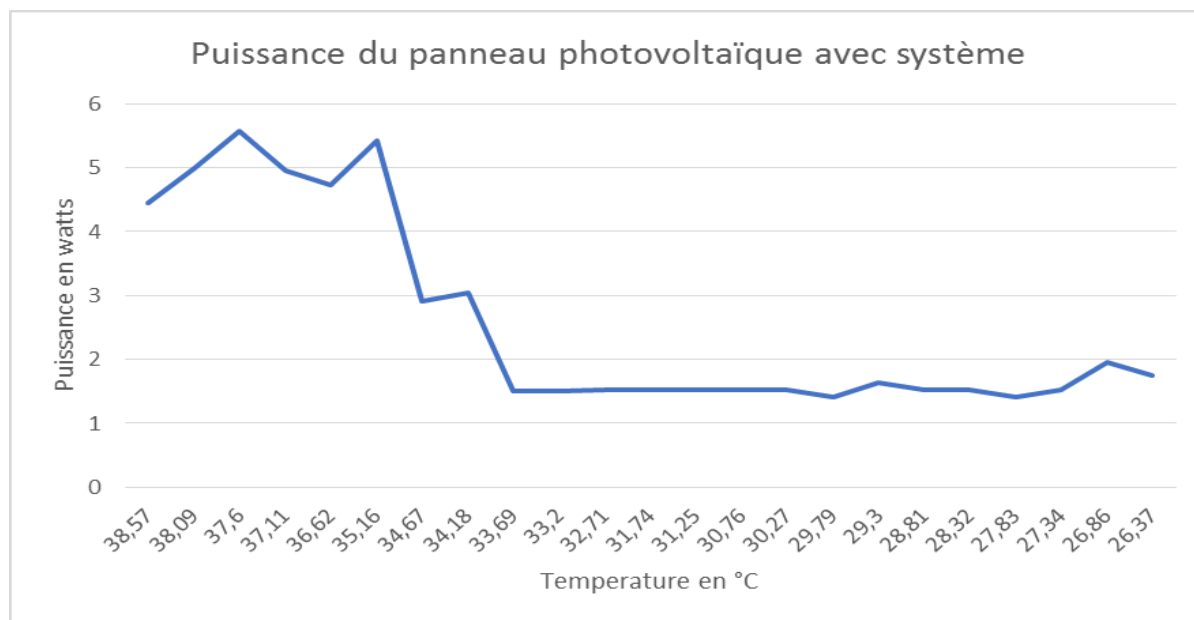


Figure 24 : Puissance du panneau photovoltaïque Avec système

3.6. Interprétation :

Ce qui était prévu en théorie pour notre système de refroidissement est de maintenir la température à 25 °C tout en augmentant la puissance du panneau refroidi. Mais malheureusement les conditions climatiques n'étaient pas constantes (éclairage, vent) et par conséquent des chutes ou des perturbations au niveau du tension et courant du panneau photovoltaïque ☐ puissance diminue même si le panneau est maintenu à une température normale

Les contraintes que nous avons eu lors de l'expérimentation :

- L'alimentation (2 adaptateurs délivrant 12v 5A) du Peltier n'était pas suffisamment grande pour créer une différence de température qui peut nous permettre de voir d'une **façon claire** l'effet de notre système sur la face derrière du panneau
- Peltier au démarrage fonctionne normalement mais au bout d'un certain temps la face froide par conduction avec la face chaude elle se réchauffe. Comme solution nous avons utilisés deux ventilateurs qui consomme une puissance 7,2 W chacune d'une source externe pour aider le dissipateur à évacuer la chaleur absorbée des cotés chauds des modules Peltier.

Vue que le dissipateur est plus grand que les 2 ventilateurs, l'évacuation n'était pas efficace

☐ Les côtés froids des modules Peltier se réchauffe de temps en temps.

Conclusion générale

Le principal objectif de notre projet était d'augmenter le rendement des panneaux photovoltaïques en utilisant un système de refroidissement simple à installer et facile à manipuler et qui assure la stabilisation de la température du PV à 25°C afin de maximiser le rendement. Nous avons d'abord étudié quatre systèmes de refroidissement et nous avons choisi de travailler avec les modules Peltier.

Les résultats de ce projet montrent que le rendement du module Peltier est faible, néanmoins il permet de contrôler la température en basant sur un système de commande constitué à base d'un Arduino, et par conséquent l'augmentation du rendement du PV.

Au cours de ce projet et au-delà du savoir-faire, nous avons appris le faire-savoir en appliquant nos prérequis et en s'ouvrant sur des d'autres.

À la fin de notre projet, nous pouvons affirmer que le système PV combiné avec les modules Peltier assure un contrôle au niveau de la température, mais il faut chercher des moyens qui permettent d'optimiser l'énergie consommée par le système Peltier-ventilateur afin d'assurer des résultats plus développés.

Bibliographies

- [1] J.G. Ingersoll, Simplified calculation of solar cell temperatures in terrestrial photovoltaic arrays. ASME J. Solar Energy Eng. 108 (1986) 95–101. [2]
- M. Debbarma, P. Rawat, S. Mehrotra, S. Lata, and K. Sudhakar, 'Energy and exergy analysis of solar photovoltaic/thermal hybrid air collector system', In Proceedings of the International Conference on Energy Technology, Power Engineering & Environment Sustainability, JNU New Delhi, Vol. 1, pp. 208 - 213, 2014.
- [3] G.Sala, Cooling of solar cells, in Cells and optics for photovoltaic concentration. Bristol,1989.
- [4] Smith, K. et al., Water Cooling Method to Improve the Performance of Field Mounted, Insulated, and Concentrating Photovoltaic Modules, Journal of Solar Energy Engineering, August 2014, Vol. 136 / 034503 1-4 [5]
- KALOGIROU S. A. Solar thermal collectors and applications. Progress in Energy and Combustion Science, 2004, vol. 30, n°3, pp.213-295. [6]
- http://fr.solarpedia.net/wiki/index.php?title=Capteur_solaire_plan (Consulté le 12/04/2021)
- [7] <https://www.civisol.fr/les-panneaux-solaires-photovoltaiques/.html> (Consulté le 12/04/2021) [8]http://www.photovoltaique.info/IMG/pdf/PV_Fab_Envf_final_26082009.pdf (Consulté le 01/04/2021)
- [9]<https://www.comwatt.com.blogspot.com/cellulesphotovoltaiquetechnologies.html> [31-10-2018](https://www.comwatt.com.blogspot.com/cellulesphotovoltaiquetechnologies.html). (Consulté le 01/04/2021)
- [10]
- <https://www.pv-magazine.fr/2020/04/02/une-entreprise-francaise-developpe-un-systeme-pour-refroidir-les-panneaux-solaires-avec-de-leau/> (Consulté le 12/04/2021) [11]
- https://fr.wikipedia.org/wiki/Liste_de_conductivit%C3%A9s_thermiques (Consulté le 01/04/2021)

[12] AHMED, Asmaa. Applications of Nanotechnology in PV/T Systems. Use of Nanofluids in Solar PV/Thermal Systems, 4, 2019. [13]

Halelfadl S., Estellé P., Aladag B., Doner N., Maré T., Viscosity of carbon nanotubes water-based nanofluids: Influence of concentration and temperature, International Journal of Thermal Sciences, 71 (2013), 111-117.

[14] Xie H., Chen L., Adjustable thermal conductivity in carbon nanotube nanofluid Physics Letters A, 373(2009), 1861-1864.

[15] Jana S., Khojin A.S., Zhong W.H., Enhancement of fluid thermal conductivity by the addition of single and hybrid nano-additives. Thermochim Acta, 2007;462:45

[16] Kim Y.J., Ma H., Yu Q., Plasma nanocoated carbon nanotubes for heat transfer nanofluids. Nanotechnology 2010; 21:295703

[17] Phuoc T. X., Massoudi M., Chen R. H., Viscosity and thermal conductivity of nanofluids containing carbon nanotubes stabilized by chitosan, Int J. Thermal Sci., 50 (2011), 12-18.

[18] Chaire, CRSNG/ Alcan. Changements de phase.

<http://lamh.gmc.ulaval.ca/opus/scphys4/resumes/13c.shtml> (consulté le 17.04.2021).

[19] HAILLOT, Didier. Projet ANR STEEP. Publié le 9 mars 2017, <https://latep.univ-pau.fr/fr/projets-et-collaborations/projets-anr/projet-anr-steep/resume.html> (consulté le 17.04.2021)

[20] Hassan, A., Phase Change Materials for Thermal Regulation of Building Integrated Photovoltaics,

Doctoral Thesis, Dublin Institute of Technology, 2010.

[21] Abhijit Date, Lippong Tan.. Method and materials. Efficiency gains of photovoltaic system using latent heat thermal energy storage, 6, 2, 2017.

[22] Olympiades de physique 2014-2015, 22ème édition, Peut-on recharger un téléphone portable avec une flamme ?

[23] Mémoire de Master Spécialisé GEER. Option : Energies Renouvelables rédigé par MEDJO N. Brigitte A. Page 21

[24] Matthieu COSNIER (2008), Etude expérimentale d'un système thermoélectrique destiné au rafraîchissement des bâtiments, thèse, Ecole doctorale de l'Université de Savoie SISEO ; YANG et al, 2008].

[25] <https://pitch-technologies.fr/produits/laird-principe-module-peltier-agent-en-france/>
(Consulté le 13/04/2021)

[26] Propriétés Electroniques du YVO_3 , CaVO_3 Et Leur Composé $\text{Y}_{1-x}\text{Ca}_x\text{VO}_3$, Djamel TRARI, 2010

[27] <https://fr.wikipedia.org/wiki/Thermo%C3%A9lectricit%C3%A9> (Consulté le 13/04/2021)

[28] Zouak B. et Belkaïd M.S. Etude et simulation d'un système de refroidissement par effet Peltier pour les cellules solaires photovoltaïques. Revue des Energies Renouvelables Vol. 22 N°2 (2019) pg 175.