

Analyse Optimisationnelle du Rendement d'un Système Solaire Photovoltaïque

Richard Katembo Kamera

Résumé

Pour survivre, l'homme a besoin de l'énergie ne provenant pas seulement de la nourriture, mais aussi de celle produite par la nature afin que tous les travaux ne soient plus manuels. Il recherchera à exploiter de l'énergie sous diverses formes : calorifique, mécanique, électrique, etc. Notre étude porte sur l'optimisation du rendement d'un système solaire photovoltaïque exploitant l'énergie solaire qui est la source d'énergie la plus prometteuse et la plus puissante parmi les énergies renouvelables. Deux expériences ont été analysées pour permettre l'augmentation du rendement du module solaire photovoltaïque. L'observation et l'expérimentation faites sur un échantillon d'un panneau solaire nous ont conduits à trouver que la concentration de lumière par des miroirs et le refroidissement de la cellule photovoltaïque par les moyens que nous avons adoptés, permettent une augmentation du rendement de la cellule photovoltaïque qui a subi une hausse de 13% à 17% et dont le rendement global est allé à 53,4% car la grande partie est thermalisée. Après le refroidissement de la cellule par l'eau froide qui chaque fois recyclée les résultats montrent l'élévation à 50°C d'une manière automatique.

Mots clés : Optimisation, analyse optimisation elle, rendement, et photovoltaïque.

Abstract

Man needs energy from food to survive. He will seek to exploit energy in various forms: calorific, mechanical, electrical, etc. Our study focuses on optimizing the performance of a photovoltaic solar system using solar energy, which is the most promising and powerful energy source among renewable energies. The study analyzed two experiments to find out how to increase the efficiency of the photovoltaic solar module. Observations and experimentations made on a solar panel sample show the concentration of light by mirrors. The cooling of the photovoltaic cell by the means adopted allows an increase in the yield of the photovoltaic cell, which underwent a rise from 13% to 17% and whose overall efficiency went to 53.4% because the large part is thermalized. After cooling the cell with cold water, which is recycled each time, the results show the rise to 50°C automatically.

Keywords : Optimization, optimization analysis, efficiency, and photovoltaics.

Introduction

Pour survivre, l'homme a besoin de l'énergie ne provenant pas seulement de la nourriture, mais aussi de celle produite par la nature afin que tous les travaux ne soient plus manuels. Il recherchera à exploiter de l'énergie sous diverses formes : calorifique, mécanique, électrique, etc. La consommation de l'énergie donne lieu à des émissions de gaz à effet de serre et une augmentation de la pollution. Le danger supplémentaire est qu'une consommation excessive du stock de ressources naturelles réduit les réserves de ce type d'énergie de façon dangereuse pour les générations futures. Le pétrole représentait alors 45% de l'énergie consommée alors que cette proposition est tombée à 38% aujourd'hui et semble se stabiliser dans les années à venir. Multon (2017).

Selon El Kafazi (2016), l'emploi des nouvelles sources d'énergie renouvelables aide à atténuer les émissions de gaz à effet de serre et la dépendance sur les énergies centralisées fossiles. Ce qui pousse de plus en plus à rechercher des solutions innovantes palliant au déficit énergétique et limitant l'impact négatif sur l'environnement.

Le soleil est la source d'énergie la plus puissante, gratuite, il n'y a qu'à l'exploiter. Les technologies nouvelles de production d'énergie hydroélectrique, la géothermique, la biomasse, l'énergie éolienne et l'énergie photovoltaïque ne sont que des énergies propres à développer pour participer à la production d'électricité. Les systèmes de conversion ne sont

pas toujours idéaux, d'où l'insertion de certaines pertes lors du fonctionnement. Le convertisseur photo voltaïque est statique ; mais présente le rendement de conversion faible. Cette valeur du rendement appartient à la gamme de la technologie de silicium cristallin (10% à 20%) pour l'usage industriel (Domain, 2013).

Selon l'ONU (2018), la croissance extraordinaire des investissements solaires montre comment la carte mondiale de l'énergie évolue. La production d'énergie électrique est un défi de grande importance pour les années à venir. Les besoins énergétiques des pays industrialisés ne cessent d'augmenter. Et les pays en voie de développement ont du jour au jour besoin de plus d'énergie électrique pour bien mener à leur développement. Cependant, de nos jours, la grande partie de la production mondiale d'énergie est assurée à partir des énergies fossiles (tels que le pétrole, le charbon et le gaz naturel pour les plus répandus) seulement.

C'est pourquoi il est important de prendre des précautions nécessaires dans l'installation du système photovoltaïque (P.V) afin de maximiser sa production pour l'énergie. Selon Salagnac (2012), pour un générateur photovoltaïque, la production de puissance varie fortement en fonction de l'orientation du module, l'éclairement, de la température, mais aussi du vieillissement intrinsèque de module. Ainsi, cette étude a pour but d'analyser comment optimiser le rendement d'un système solaire photovoltaïque pour la production de l'énergie.

Méthodologie

Présentation des matériels utilisés

Selon Mambrini (2014), les études conduisent que le meilleur rendement est porté par les cellules de matériaux silicium monocristallin qui est compris entre 12 et 20 % pour les cellules industrielles. Pour arriver aux résultats de nos expériences, les éléments de base qui nous ont servi sont : un concentrateur de lumière à miroir que nous avons conçu, un panneau P.V de 10W qui, sa surface arrière a été enveloppée ; les thermomètres, deux multimètres, une carte électronique programmable (Arduino UNO), un capteur de température, une pompe électrique et les accessoires.

Afin d'atteindre la finalité de cette recherche, une cellule photovoltaïque avec mention « Germany » a fait l'objet de notre étude parmi tant d'autres (holandia, sunchine, etc.) que sont aussi disponible sur marché. Ce qui nous a conduits à ce choix sont les caractéristiques améliorées trouvées sur la plaque signalétique de ce module pour une même dimension que les autres. Ces caractéristiques ont donné : $G=1000W/m^2$, $\Theta=25^\circ C$ AM1.5, on a : $P_{max}=10 W$; $V_m=17.5 V$; $I_m=0.571 A$; $V_{co}=21 V$; $I_{cc}=0.64 A$. Pour apprécier l'optimisation de la cellule PV, les travaux de terrain se sont déroulés dans la période comprise entre le 20 mars au 30 mars 2019, et ce en ville de Butembo.

Quant aux méthodes et techniques de récolter des données, nous avons appliqué la méthode d'observation accompagnée par la technique expérimentale faites sur un échantillon d'un module photovoltaïque. Les instruments et appareils comme le thermomètre, le voltmètre, le ampèremètre carte programmable nous avaient servi pour récolter les données.

L'étude porte sur la concentration de lumière (maximiser l'ensoleillement) tout en gardant fixe la surface active du module solaire afin d'augmenter la production d'une installation PV et non sur sa constitution ou technologie. Elle porte aussi sur un moyen de refroidissement de la partie inférieure du panneau afin de baisser sa température de fonctionnement. Pour ce, nous avons conçu un concentrateur de lumière et un système de refroidissement pour le contrôle du système.

Résultats

Pour la concentration de la lumière

Nous avons aussi analysé la méthode d'optimisation par la concentration de lumière selon les figures ci-dessous :





Figure 1. *Vue en perspective d'un concentrateur*



Figure 2 *Vue de dessus d'un concentrateur*

Ce concentrateur est constitué des miroirs sur les parois intérieures afin de réfléchir ou d'orienter certains photons vers les cellules P.V. Il sera alors placé (fixé) sur la surface active du panneau solaire. Nous avons trouvé que la température ambiante n'est pas la même à l'intérieur tout comme à l'extérieur du concentrateur de lumière. A un instant donné dans l'après-midi (à 14h30) nous avons prélevé 41°C en dehors du concentrateur et 56°C dans le concentrateur de lumière. Ces essais se sont déroulés entre 15h00 et 15h30.

Tableau 1 *Comparaison des courants I_{cc} avec et sans concentrateur*

I_{cc} sans concentrateur 0.34 0.7 0.71 0.7 0.69 0.68 0.63 0.67 $I_{cc\text{moy}} = 0.63$
(A)

I_{cc} avec concentrateur 0.38 0.82 0.8 0.77 0.77 0.77 0.71 0.74 $I_{cc\text{moy}} = 0.72$
(A)

Le refroidisseur de la cellule

Nous avons analysé la méthode d'optimisation par le refroidissement de la partie inférieure (inactive).





Figure 3 Système de refroidissement utilisé

Nous avons enveloppé la partie inférieure du panneau solaire grâce à une tôle mince, et pas le boîtier des connexions pour permettre l'accessibilité des manœuvres et éviter le court-circuit qui peut être dû à l'eau. Les caractéristiques de ce dernier sont :

$$G=1000\text{W/m}^2, \Theta=25^\circ\text{C}$$

$$\text{AM1.5, on a } :P_{\text{max}}=10 \text{ W};$$

$$V_m=17.5 \text{ V}; I_m=0.571 \text{ A}; V_{co}=21 \text{ V}; I_{cc}=0.64 \text{ A}.$$

Toutes les fentes ou trous qui peuvent occasionner la fuite ou perte du fluide (eau) doivent être bouchés (tel est le cas de l'utilisation de la silicone).

Afin de permettre la circulation du fluide, nous nous sommes servis de trois tuyaux dont :

- Deux du même côté : l'un qui sert comme l'entrée du fluide relié au réservoir, et l'autre, coudé vers le haut qui empêche la dépression dans le refroidisseur tout en permettant une circulation libre du fluide.
- Le troisième tuyau est celui permettant la sortie du fluide, qui peut être renvoyé soit dans le réservoir, soit vers l'utilisation où l'eau chaude peut être utilisée.

Les résultats typiques obtenus à la sortie du panneau dans nos essais ont prouvé que pour cinq mesures effectuées, sans et avec eau de refroidissement (l'une après l'autre), tout en estimant le même éclairement, nous avons trouvé le résultat du premier essai suivant :

Tableau 2 Les valeurs de I_{cc} et V_{co} avec et sans refroidisseur

Sans eau de refroidissement, le courant I_{cc} (A) et V_{co} (V)	Avec eau de refroidissement le courant I_{cc} (A) et V_{co} (V)
0.52A et 19.0V	0.52 et 19.8V
0.62 et 18.7V	0.61 et 19.4V
0.53 et 19.0V	0.53 et 19.7V
0.73 et 18.5V	0.73 et 19.7V
0.48 et 19.2V	0.48 et 19.3 V

Il fallait attendre quelque temps pour que la température augmente après avoir déversé l'eau de refroidissement, puis mesurer le courant de court-circuit. On refroidit ensuite la cellule PV par l'eau et enfin mesurer encore le courant de court-circuit. La température dangereuse des cellules P.V est d'environ 150°C . Nous avons prélevé la température de l'eau pour une durée (de 9h00 à 12h30) d'un bon ensoleillement de 72°C qui n'est pas dangereuse. Nous avons su stocker dans le refroidisseur une capacité de 1,6 litre pour un panneau de 10W.

Dans ce cas, la quantité de chaleur reçue est $Q = m.c.\Delta\theta$, avec m est la masse d'eau stockée, c 'est la chaleur massique ($c=1\text{kcal/kg}^\circ\text{C}$ pour l'eau), et $\Delta\theta$ est la variation de la température.

La température initiale de l'eau prélevée est de 22°C . Dans ce cas $\Delta\theta=50^\circ\text{C}$.

La quantité de chaleur devient alors $Q = 1,6.1.50= 80\text{kcal}$, soit 80000cal .

Or $Q=0,24.P.t$, avec P la puissance reçue qui donne P . En remplaçant, nous trouvons $P = 26.5 \text{ Watts}$ qui est une puissance perdue sous forme thermique, soit 265% de la puissance électrique produite.

Le deuxième essai a abouti aux résultats suivants, le courant de court-circuit étant maintenu constat (0.36A).

Tableau 3. Variation de la tension en fonction de la température

Température du Panneau solaire (°C)	Courant I _{cc} (A)	Tension à circuit ouvert (V _{co} en volt)
25	0.36	20
33	0.36	19.7
36	0.36	19.5
42	0.36	19.3
55	0.36	18.6

Après refroidissement par l'eau, la température du panneau baisse ; pour une température de 33°C, la tension à vide mesurée est de 20.2V (pour un éclairage autre que pour le premier essai). Le constat est que la température a une influence significative sur la tension fournie par une cellule photovoltaïque.

Discussion

Pour le concentrateur de lumière

Le fait que la température n'est pas la même à l'intérieur et en dehors du concentrateur, cela peut s'expliquer pour le fait que les photons prennent plusieurs mouvements (incident, réfléchi dans plusieurs directions) dans le concentrateur. Selon Fronhoffs (2018), le point de puissance max, varie en fonction de l'ensoleillement et de la température.

Les rayons solaires se propagent dans différentes directions correspondant aux différents positons du soleil pendant la journée.

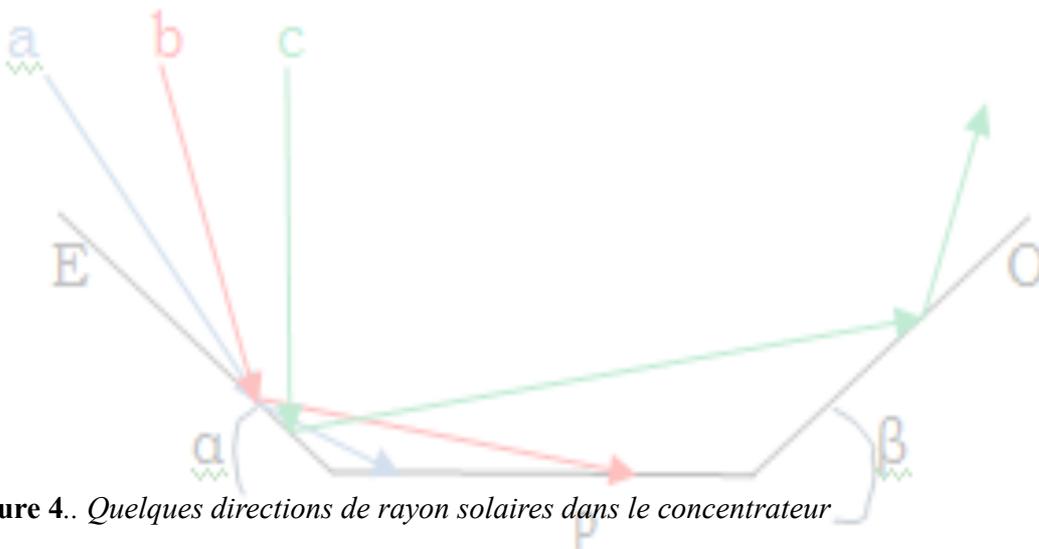


Figure 4. Quelques directions de rayon solaires dans le concentrateur

Le résultat du Tableau1 prouve que l'apport du concentrateur joue sur l'augmentation du courant, c'est-à-dire de la puissance.

Évaluation du gain

Le courant moyen I_{cc} sans concentrateur de lumière étant évalué à 0.63A avant concentration de lumière et 0.72A après concentration de lumière, nous obtenons , ce qui fait une augmentation de 14%. Le concentrateur de lumière disposé horizontalement, avec ces mesures, augmente la puissance crête de 14% entre 9h00 à 11h00 puis entre 13h00 à 15h30.

Pour le refroidisseur

Compte tenu d'autres mesures que nous avons prélevé du panneau PV, telles que la longueur utile L=3,25dm ; la largeur l=2,23dm ; ce qui donne une surface S=7,247dm².

Or, pour une surface de 1m², le panneau reçoit une puissance de 1000W et produit une puissance électrique de 10W pour AM1.5 à 25°C. C'est-à-dire, dans ces conditions, pour 1dm² recevra 10W ; et 7,247 dm² reçoit 72,47W. Nous concluons que le rendement de ce panneau est

$\eta = 0,1379$ soit 13,79%.

En analysant les résultats du tableau3, nous trouvons que la température n'a pas

beaucoup d'impacts sur la production du courant de ce panneau PV. Même si nous constatons que la température n'influence pas beaucoup sur la production du courant, les données précédemment vues dans le tableau III ont prouvé que la tension V_{oc} diminue lorsque la température augmente, c'est-à-dire une diminution de la puissance maximale. Pour Salah (2015), quand la température augmente la tension de circuit ouvert diminue. Et par contre la puissance maximale du générateur subit une diminution.

Évaluation du gain

Dans le tableau III, nous avons mesuré 18.6V à la température de 55°C, et 20.2 V après refroidissement à la température de 33°C, nous trouvons un gain moyen de puissance qu'apporte ce refroidisseur de =1.086 ce qui donne une augmentation de 8,6%. La statistique montre que, en calculant les écarts-types des tensions et températures (du tableau 3), nous avons :

Pour la température

Tableau 4 Calcul de l'écart-type pour la température

X (t°)	25°C	33°C	36°C	42°C	55°C	M=38.2°C
X	-13.2	-5.2	-2.2	3.8	16.8	
x ²	174.24	27.04	4.84	14.44	282.24	$\Sigma x^2=502.8$

Avec $x=X-M$ et l'écart-type δ est la racine carrée de la moyenne arithmétique de carré des écarts individuels. Pour ce cas, $\delta=10.02^\circ\text{C}$.

Pour la tension

Tableau 5 Calcul de l'écart-type pour la tension

X (V)	20	19.7	19.5	19.3	18.6	M=19.24
X	0.58	0.28	0.08	-0.12	-0.82	
X ²	0.3364	0.0784	0.0064	0.0144	0.6724	$\Sigma x^2=1.108$

L'écart-type donne 0.47V.

Nous trouvons que pour ce panneau PV, une augmentation de température de 10°C, fait diminuer la tension de 0.47V dans une certaine condition. Le gain total ainsi trouvé est 14% + 8.6% =22.6%. La puissance électrique totale produite vaut 12,6W. Pour Domain (2016), Le rendement de conversion de l'énergie lumineuse en énergie électrique d'une cellule photovoltaïque de surface S, de puissance Pmax sous une irradiance lumineuse Irrad. Le rendement électrique est η (Mansour, 2014) et devient alors η .

En estimant la puissance totale (électrique et thermique) produite par notre module, nous trouvons :12,26W+26,5W=38.75 W sans concentrateur. Dans ce cas, le rendement global donne $\eta =0.534$ soit 53,4%

Automatisation du système

Nous voyons bien que la température a une influence néfaste sur une cellule PV, et que le refroidissement apporte un gain d'environ 8,6%. Il faudra donc limiter la température de fonctionnement du panneau PV afin d'augmenter sa puissance maximale. L'objet de ce travail étant d'optimiser le rendement d'un système PV c'est-à-dire augmenter la puissance, le recyclage de l'eau est donc nécessaire.

Étude du recyclage de l'eau

Pour éviter toute sorte d'oubli à évacuer l'eau chaude afin de refroidir le panneau solaire PV, le recyclage doit se faire d'une manière automatique. Les éléments de base qui vont nous servir sont : un capteur de température, une pompe électrique une carte électronique programmable et les accessoires. Pour notre cas, l'eau sera refoulée automatiquement dès que la sa température atteindra 50°C (afin d'éviter les démarrages rapides de la pompe). Voici comment nous avons commandé le moteur de la pompe :

Vcc = 12V

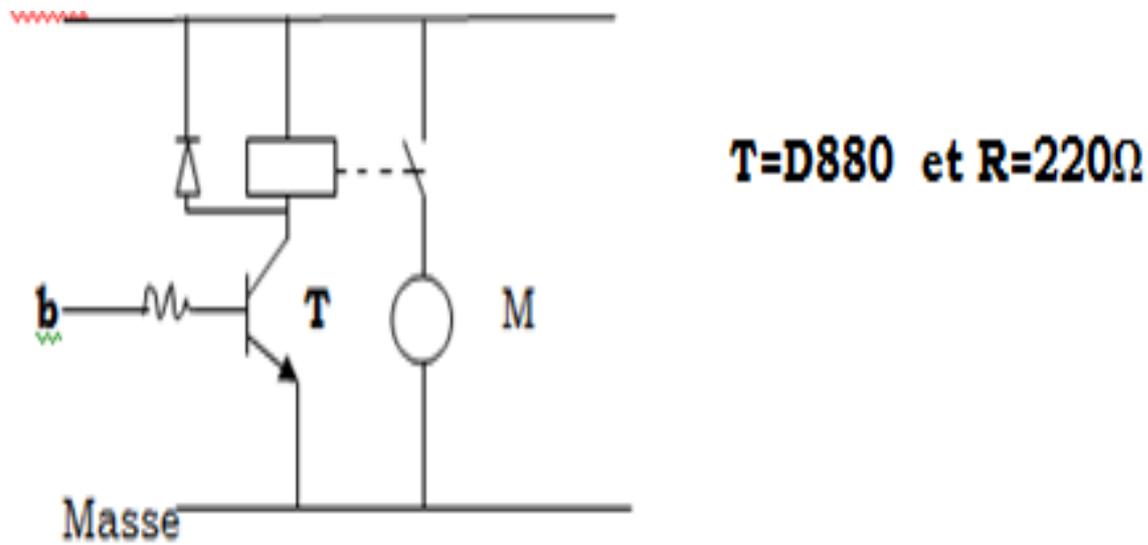


Figure 5 Circuit de réalisation

Selon Masivi (2017), voici la manière à laquelle devra s'écrire le programme Arduino de ce système :

```

int temperature = 2;
int base = 4;
int T = 0;
void setup ()
{ pinMode(temperature, INPUT);
  pinMode(base, OUTPUT);
}
void loop()
{
  T = digitalRead(temperature);
  if(T==1)
  {
    digitalWrite (base,LOW);
  }
  else
  {
    digitalWrite (base,HIGH);
    delay (38000);
  }
}

```

Pour bien s'assurer que l'eau chaude est évacuée, nous proposons refouler une quantité valant au double c'est-à-dire étendre la durée d'alimentation de la pompe. V étant le volume de l'eau est de 1.6 litre, le débit de la pompe Q de 1litre par 12secondes ; c'est-à-dire 0.083 litre par seconde. Le temps sera alors t 38 secondes de fonctionnement de la pompe.

Coût de l'expérimentation

Le coût global des éléments des éléments que nous avons utilisé pour un panneau de 10W est :

Tableau 6 Cout de l'expérimentation

Quantité	Désignation	PU (\$)	Pt (\$)
1	Carte Arduino	10	10
1	Capteur de t°	1.5	1.5
1	Pompe	20	20
10dm ²	Tôle, 1mm d'épaisseur	6	6
1	Miroir	5	5
	Supports miroirs	5	5
1	Silicones	2	2
	Soudure	3	3
	Accessoires	5	5

Coût sur une projection

En estimant le coût sur une installation de 1000W avec les panneaux de même qualité, nous estimons que le volume d'eau stockée pourra être 200 litres ou plus car l'épaisseur augmente pour les gros modules.

Tableau 7 *Coût estimatif sur une projection.*

Quantité	Désignation	PU (\$)	Pt (\$)
1	Carte Arduino	10	10
1	Capteur de t°	1.5	1.5
1	Pompe	100	100
10m ²	Tôle	600	20
80	Miroirs	5	400
	Supports miroirs	100	100
20	Silicones	2	40
	Soudure et forme	30	30
	Accessoires	20	20
		$\Sigma = 721.5$	

Le système de refroidissement peut être utilisé pas seulement dans l'objectif de refroidir, mais pour gagner la chaleur de l'eau qui peut être utilisée d'une autre façon. Dans ce cas, le recyclage de l'eau peut se faire avec une vanne manuelle. Il faudra alors placer la source d'eau froide à une hauteur supérieure à celle du panneau pour que l'installation de la pompe n'intervienne plus.

Conclusion et Recommandations

Au terme de notre l'étude axé sur «l'analyse et l'optimisation du rendement d'une cellule photovoltaïque», il nous est utile de récapituler les idées maitresses qui ont constituées les grandes lignes de notre travail. L'objectif poursuivi dans ce travail consistait à nous imprégner de l'existence d'autres moyens pouvant augmenter la production ou l'exploitation d'une cellule photovoltaïque. Pour bien mener cette étude, nous nous sommes posé la question de savoir s'il y a des éléments à associer à une cellule photovoltaïque afin d'optimiser son rendement.

A l'issu de l'analyse des données, nous sommes arrivés aux résultats selon lesquels qu'il existe d'autres éléments à associer à une cellule photovoltaïque afin d'optimiser son rendement. Il a été démontré que le concentrateur de lumière apporte un gain élevé (14%) en puissance électrique par rapport au système de refroidissement (8,6%). On peut augmenter la production photovoltaïque en élargissant les dimensions des miroirs concentrateurs et en étudiant au mieux l'inclinaison des parois. Avec ces deux systèmes, le rendement électrique de la cellule a connu une hausse de 13% à 17% et le rendement global est allé à 53,4% car la grande partie est thermalisée. Le panneau solaire produit la chaleur capable de chauffer l'eau pouvant atteindre 72°C pendant son fonctionnement en adoptant le système utilisé. La puissance perdue sous forme thermique est d'environ 265% de la puissance électrique produite. Avec le système de refroidissement, l'installation devient alors économique car on obtient en même temps le rôle du solaire PV et du solaire thermique. Dans ce cas, son rendement global augmente.

Dans le domaine où l'on a besoin de la chaleur produite par l'eau chauffée, le recyclage devra s'effectuer après l'obtention d'une température élevée. Quant aux facteurs qui influencent la production de l'énergie pour une cellule photovoltaïque il a été démontré que la température et la quantité de lumière sont parmi les facteurs majeurs. Du reste, nous retenons qu'il existe des éléments à associer à une cellule photovoltaïque afin d'optimiser son rendement et que la température et la quantité de la lumière sont des facteurs clés qui influencent la production de l'énergie pour une cellule photovoltaïque.

Références

- Domain, F. et. al. (2016). Caractéristiques électriques des cellules et des panneaux photovoltaïques
- Domain, F. et. al. (2013). *7 caractéristiques électriques des cellules et des panneaux CV*, Mont-blanc.
- El Kafazi, I. (2016). *La modélisation et l'optimisation des systèmes de production complexe ; application aux réseaux énergétiques : Etat de l'art et Comparaison de modèles.*
- Fronhoffs, J. (2018). *Installations solaires photovoltaïques, Bruxelles 2018*
- Mambrini, T. (2014). *Caractérisation de panneaux solaires photovoltaïques en conditions réelles d'implantation*, Thèse à l'Université Paris-Sud.
- Mansour, S. (2014). *Étude de Dimensionnement Optimal d'une Station Solaire Autonome en Site Isolé*, Mémoire à l'Université Abou BekrBelkaid.
- Masivi, M. (2017). *Cours d'informatique appliquée*, I.S.P.T-Muhangi2016-2017
- Multon, B. (2017). *Analyse des ressources et de la consommation : la place de l'énergie électrique*, Ecole Normale Supérieure de Cachan.
- ONU. (2018). Le monde mise sur le solaire.
- Salagnac, Jean-Luc. (2012). *Production d'énergie par modules photovoltaïque*, A.N.R.
- Salah, M. (2015). *Optimisation de la production d'un générateur photovoltaïque*, Mémoire à l'Université KasdiMerbah Ouargla.
- Salah, M. (2015). *Optimisation de la production d'un générateur photovoltaïque*, Mémoire à l'Université KasdiMerbah Ouargla.