

## **Simulation de l'influence de la température sur l'efficacité des cellules photovoltaïques en utilisant le logiciel PVsyst : cas spécifique de la ville de Bobo, Burkina Faso**

**Kondia Honoré OUOBA**

*Groupe d'Etude en, Unité de Formation et de Recherche en Sciences et Techniques (UFR/ST), Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso (UPB), BP 7021, Burkina Faso*

---

\* Correspondance, courriel : [ouobakahonore@yahoo.fr](mailto:ouobakahonore@yahoo.fr)

### **Résumé**

Cette étude montre l'influence de la température des cellules photovoltaïques (PV) sur leur rendement. Le cas de la ville de Bobo, avec les paramètres géographiques : latitude 11, 2°N, Longitude 4,3°O, altitude moyenne de 441m, ville du Burkina Faso est considéré. Nous avons utilisé le logiciel PVsyst pour simuler l'influence de la température sur l'efficacité des cellules PV. Un module Si-poly 250Wp ayant 60 cellules a été choisi pour cette étude. En effet, ce sont de types de cellules qui sont couramment utilisées dans cette ville. Les résultats montrent que le fonctionnement des cellules PV est fortement lié à sa température. Une cellule PV baisse sa productibilité quand sa température augmente. Ainsi, pour un rayonnement standard de 100 W/m<sup>2</sup>, aux températures de 20°C, 25°C, 35°C, 40°C, 45°C ; 50°C ; 55°C ; 60°C, la puissance maximale produite par ces cellules est de l'ordre de 257,4W ; 251,9W ; 241,0W ; 235,4W ; 229,8W ; 224,1W ; 218,4°W ; 212,6W.

**Mots-clés :** *énergies renouvelables, module PV, irradiance, température, puissance maximale.*

### **Abstract**

**PV cells efficiency study by considering temperature influence using the logiciel PVsyst for simulating : applied to Bobo, Burkina Faso region**

This study shows the influence of photovoltaic cells (PV) temperature on their yield. The case of the city of Bobo, with the geographical parameters : latitude 11, 2°N, Longitude 4,3°O, average height of 441m, city of Burkina Faso is considered. We used the PVsyst software to feign the influence of the temperature on the efficiency of PV cells. A Si- poly module 250Wp having 60 cells was chosen for this study. Indeed, it is the types of cells which are largely used in our countries. The results show that the output current of PV cells is strictly bound to its temperature. Current intensity decreases when their temperature increases. So, for a standard brilliance of 100 W/m<sup>2</sup>, in the temperatures of 20°C, 25°C, 35°C, 40°C, 45°C ; 50°C, the cell maximal power is about 257,4W; 251,9W; 241,0W; 235,4W; 229,8W; 224,1W; 218,4°W; 212,6W.

**Keywords :** *renewable energies, PV module, irradiance, temperature, maximal power.*

## 1. Introduction

L'énergie solaire occupe un rôle important dans la famille des énergies renouvelables (EnR) [1 - 7]. Ces énergies se définissent comme des énergies qui ont des sources dont le renouvellement naturel est assez rapide pour qu'elles puissent être considérées comme inépuisables à l'échelle de temps humain. A cette époque de crise d'énergie fossile et de pollution environnementale, l'énergie solaire propre et accessible se voit comme une alternative prometteuse pour palier ces insuffisances [7 - 10]. Ainsi, au cours de ces derniers siècles, certains pays ont investi dans l'énergie solaire [11 - 13]. À la fin de 2015, la puissance installée mondiale en photovoltaïque dépassait 227 GWc. La puissance installée dans cette même année est estimée à 50 GWc, en progression de 25 % par rapport aux 40 GWc installés en 2014 ; la Chine à elle seule a installé 15,2 GWc et le Japon 11 GWc. Les trois pays les plus équipés en Wc par habitant sont en 2015 l'Allemagne : 491 Wc/hab, l'Italie : 308 Wc/hab et la Belgique : 287 Wc/habs. Notons que l'utilisation de ces technologies solaires est, dans la plupart des cas en Afrique, mal maîtrisée, avec une anarchie dans l'installation [14, 15]. Certaines règles de bon fonctionnement sont ignorées par l'utilisateur. L'efficacité de l'installation dépend de beaucoup de facteurs. Il y a entre autre la qualité du matériel (accumulateurs, cellules PV, les fils de connexion, etc.), mais aussi de l'environnement extérieur tel que l'angle d'exposition aux rayons solaires, la saleté, etc. [16 - 22]. Dans ce travail nous nous intéressons à l'influence d'un facteur qui est la température externe des cellules sur son fonctionnement. Il est souvent admis dans l'esprit du consommateur lambda qu'une cellule exposée sous un soleil très brulant produirait mieux l'électricité que celle exposée à un endroit suffisamment éclairé mais de très basse température. Pour lever ces inquiétudes, nous ferons subir les cellules PV à des éclairages d'intensité variable, puis pour chaque éclairage, nous varions la plage de température pour évaluer la production électrique en forme de puissance maximale de sortie des cellules PV. Nous veillerons à respecter les conditions de la situation géographique de la ville de Bobo-Dioulasso, afin de tirer des résultats compatibles à la situation sur le terrain.

## 2. Méthodologie

### 2-1. Conditions externes

La référence de la température est de  $T_{\text{Ref}} = 25^{\circ}\text{C}$  et l'irradiance est de  $G_{\text{Ref}} = 1000\text{W} / \text{m}^2$ . Nous avons utilisé des plages de températures allant de  $20^{\circ}\text{C}$  à  $60^{\circ}\text{C}$  qui sont des plages raisonnables pour certaines villes de l'Afrique de l'Ouest, notamment la ville de Bobo. Notons que la température des plaques est différente de celle de l'air ambiant. En générale, la plaque s'échauffe plus que l'air environnant car elle emmagasine la température. Pour valider les résultats, nous regardons la tendance sous plusieurs irradiances. Pour cela, l'irradiance utilisée varie de  $200\text{W}/\text{m}^2$  (mauvais temps) à  $1000\text{W}/\text{m}^2$  (temps très ensoleillés).

### 2-2. Les principes de base d'un module PV

- *Principes Fonctionnement*

L'intensité des cellules photovoltaïque est décroissante en fonction de la tension à ses bornes comme l'indique la **Figure 1**. L'intensité débitée par une cellule à vide ( $V = 0\text{V}$ ) est nommée  $I_{sc}$ , pour courant de court-circuit. C'est la plus haute intensité que la plaque débite. Puis à mesure que la tension s'installe, l'intensité décroît et s'annule pour une valeur de la tension nommée  $V_{oc}$ , pour tension à circuit ouvert. L'inverse de cette courbe est similaire au fonctionnement d'une diode, d'où la modélisation [15,16] de la cellule au modèle de la **Figure 2**. En effet, la cellule laisse passer le courant dans un sens indiqué par la diode  $I_D$ . Les pertes de production sont représentées par les résistances de shunt ou parallèle  $R_{sh}$ , et de série  $R_s$ .

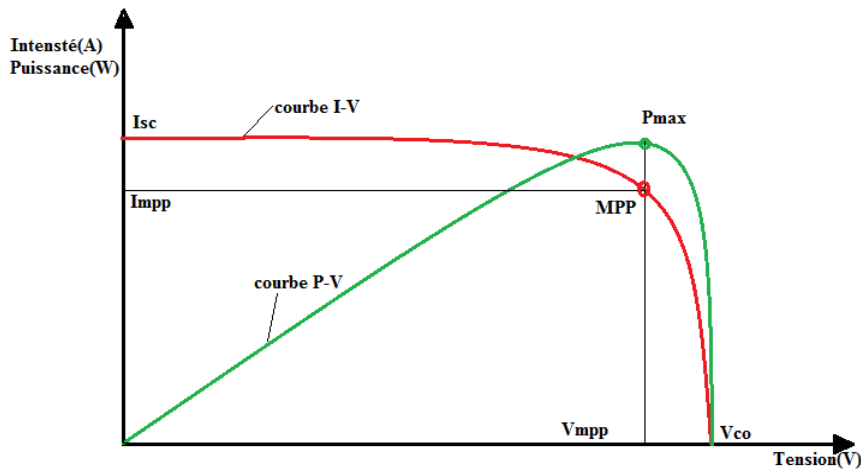


Figure 1 : Courbe caractéristique courant-Tension, Puissance-Tension d'un module photovoltaïque

La relation I-V permet de déduire la puissance fournie par la cellule. Elle admet un maximum correspondant à un point de la courbe I-V nommée MPP ou point de puissance maximale.  $I_{mpp}$  et  $V_{mpp}$  sont les courants et tension qui optimisent le fonctionnement de la cellule PV (Figure 1).

• *Caractéristique STC et spécification du module*

Le module photovoltaïque utilisé est du type Si-poly de dimensions en mètres de  $0.992 \times 1.640$  soit une surface brute de  $1.63m^2$ . Il est composé de  $1 \times 60$  cellules de surface sensible de  $1.46m^2$ . Sa tension de circuit-ouvert est de  $V_{co} = 37.4V$  et de courant de court-circuit de  $I_{sc} = 8.83A$ . Il a une tension au point de puissance maximale  $V_{mpp} = 30.0V$  et un courant au point de puissance maximale  $I_{mpp} = 8.83A$ . La puissance maximale de ce module est de  $P_{mpp} = 250.2W$  avec un coefficient de température de  $\mu_{I_{sc}} = 4.3mA/^{\circ}C$ .

• *Paramètres du module à 1 diode*

Les caractéristiques électriques (Figure 2) équivalentes de ce module sont les suivantes :

- résistance parallèle est de  $R_{parall} = 500 \text{ ohm}$  ;
- courant de saturation diode est de  $I_{0Ref} = 0.046nA$  ;
- résistance série vaut  $R_{série} = 0.26 \text{ ohm}$  ;
- coefficient de température  $V_{co}$  est de  $\mu_{V_{co}} = -137mV / ^{\circ}C$  ;
- facteur de qualité diode,  $\Gamma = 0.94$  ;
- facteur de température sur  $P_{mpp}$  spécifié,  $\mu_{P_{MaxR}} = -0.44 \% / ^{\circ}C$  ;
- Coefficient de température sur  $\Gamma$ ,  $\mu_{\Gamma} = -0.001 1 / ^{\circ}C$ .

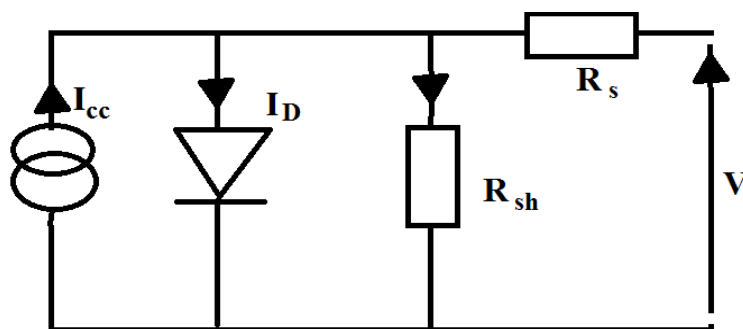


Figure 2 : Le modèle électrique équivalent du module PV

### 2-3. L'énergie solaire-mesures d'ensoleillement

Le rayonnement solaire disponible au niveau du sol est donné par les mesures météorologiques. Historiquement, ces mesures n'enregistraient que les "heures d'ensoleillement", c'est-à-dire le temps durant lequel le soleil brille. Cette information est évidemment peu précise, mais on en dispose de nombreuses mesures depuis très longtemps en météorologie. L'évaluation d'installations solaires nécessite des données énergétiques. On définit l'irradiance comme la densité de flux (puissance instantanée) incidente sur une surface donnée, exprimée en  $W/m^2$ . L'irradiation est son intégration sur une durée déterminée, c'est donc une énergie, donnée en  $kWh/m^2$  ou  $MJ/m^2$ . Heureusement, divers modèles permettent de "récupérer" approximativement les mesures d'heures d'ensoleillement existantes sous forme de valeurs d'irradiation mensuelles.

## 3. Résultats et discussion

### 3-1. Etat météorologique de la ville de Bobo

Les pays africains en générale, l'Afrique de l'Ouest en particulier, ont une insolation favorable au développement des énergies solaires. En effet, comme l'indique la **Figure 3**, la ville de Ouagadougou est abondamment ensoleillée sur toute l'année. L'ensoleillement moyen est de 8.3h. Cet ensoleillement place le Burkina au-delà de certains pays qui ont cependant développé technologie de l'énergie solaire. Notons que les mois de janvier, février, mai, juin, octobre, novembre et décembre soit 7mois sur 12 se situent au dessus de la moyenne. Seul le mois d'aout est défavorisé. C'est un mois très nuageux (**Figure 3**).

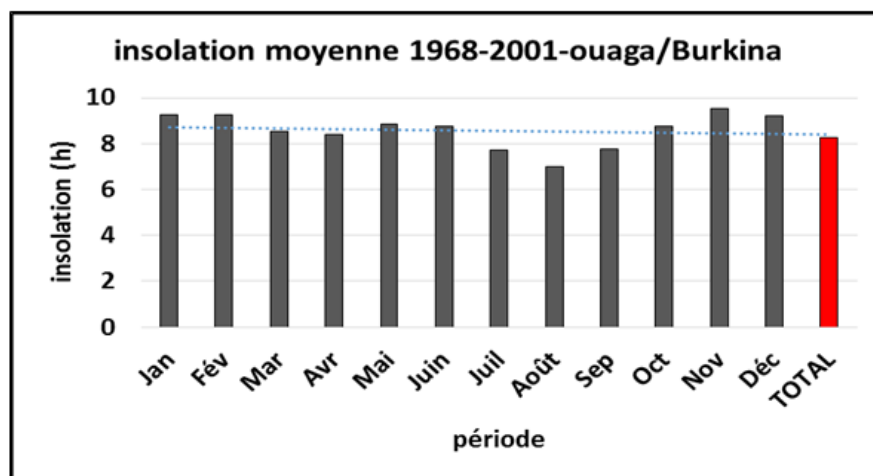


Figure 3 : L'insolation typique du Burkina Faso, cas de Ouagadougou, de 1968-2001

### 3-2. Influence de l'irradiance incidente au STC (25°C)

Fixant la température à 25°C (STC), nous évaluons l'influence de l'irradiation incidente sur la puissance maximale produite par la cellule PV. Comme nous pouvons le voir sur la **Figure 4**, l'irradiation est la principale cause de production du courant dans la cellule. Nous avons varié l'irradiation de  $200Wm^2$ ,  $400Wm^2$ ,  $600Wm^2$ ,  $800Wm^2$  et  $1000Wm^2$ . Le module fournit respectivement une puissance maximale de 48.9W, 100W, 151.2W, 201.9W et 251.9W. De même l'intensité du courant croît avec l'intensité de l'irradiation incidente (**Figures 4 et 5**).

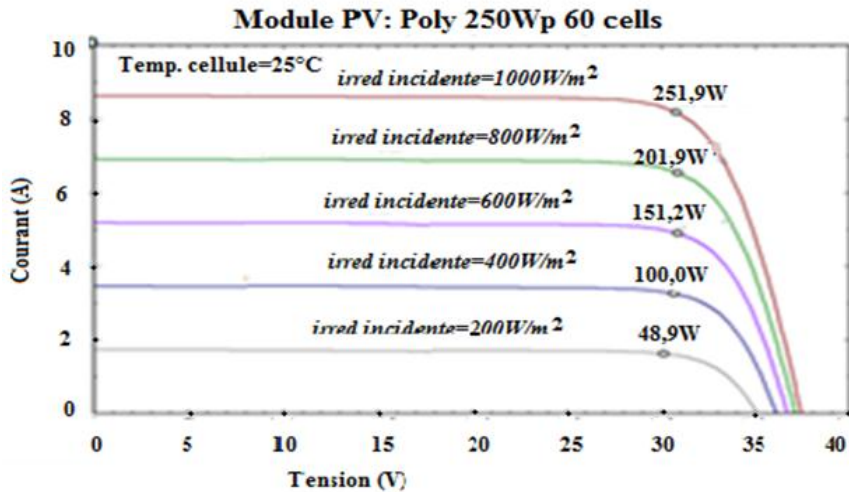


Figure 4 : Influence de l'irradiation incidente sur l'intensité du courant produit par le module PV à 25°C

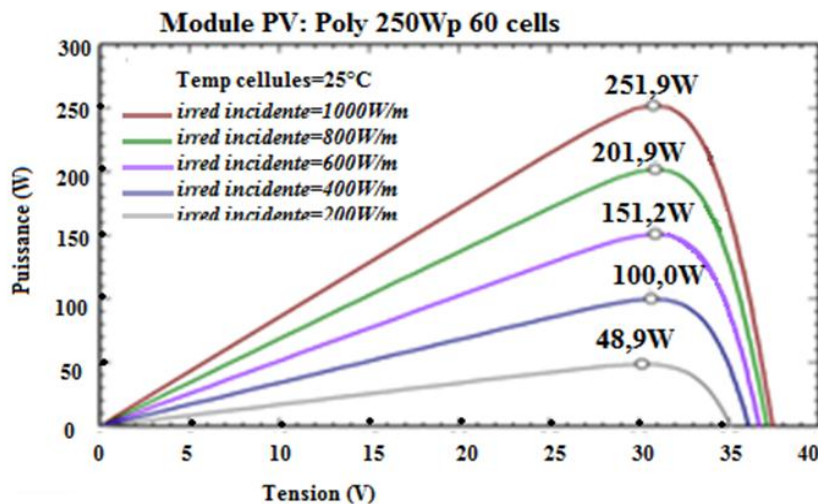
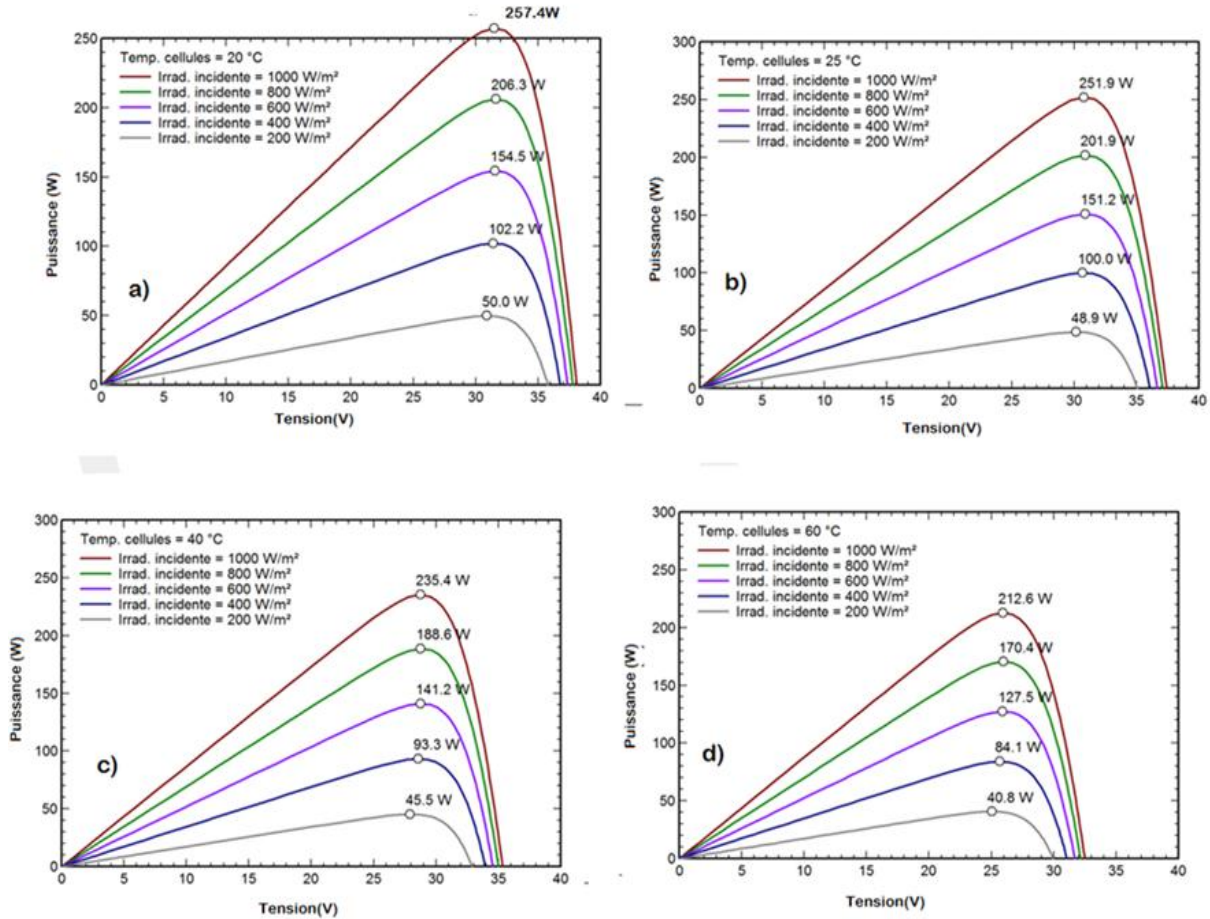


Figure 5 : Influence de l'irradiation incidente sur la puissance du module PV à 25°C

### 3-3. Influence de la température

La **Figure 6** nous indique le rôle de la température sur les performances des modules PV. Utilisant un module générique, polycristallin de 250 Wp, nous avons simulé le comportement du module sous différentes radiations en variant sans température. Une gamme de température est utilisée pour des raisons bien fixées. La température de 25°C (**Figure 6.b**) est celle dite condition normale d'usage. Nous examinons le comportement du module sous faible température, soit 20°C pour les régions de Bobo (**Figure 6.a**) et une haute température, 60°C (**Figure 6.d**). Aussi une température intermédiaire de 40°C (**Figure 6.c**) a été utilisée. Rappelons que ces températures de cellules sont généralement plus élevées que la température de l'air ambiant. Les résultats nous indiquent que la température du module est un paramètre capital sur l'évolution de la performance des modules. La **Figure 6** nous indique que quelle soit la température, la radiation est la cause principale de la production du courant par le module. Cependant, la température des modules vient comme parasite sur son fonctionnement. Plus le module s'échauffe, il perd son efficacité. En effet, la hausse de température dans le matériau crée un désordre moléculaire qui contribue à la réorganisation des électrons libres arrachés par les rayons incidents. Les faibles températures sont donc

propices à la production d'électrons sans recombinaison. Le **Tableau 1**. nous montre par exemple qu'à irradiance normale de 1000W/m<sup>2</sup>, la puissance maximale fournie par le module, générique poly 250Wp, 60cellules est de 257.4W, 251.9W, 235.4W et 212.6W lorsqu'il est soumis aux températures respectives de 20°C, 25°C, 40°C et 60°C. La même tendance est observée pour les autres irradiance. Ainsi, à faible irradiance de 200 W/m<sup>2</sup> (temps nuageux, brumeux ou autres), la puissance maximale pour le même ordre de température est de 50W, 48.9W, 45.5W et 40.8W.



**Figure 6 :** Influence de la température sur la puissance du module PV à 25°C : a) faible température 20°C ; b) à STC, 25°C ; c) température moyenne-4°C et ; d) haute température 60°C

**Tableau 1 :** Influence de la température et de l'irradiance sur les performances du module PV

Temp (°C) \ irradiance (W/m <sup>2</sup> )	irradiance (W/m <sup>2</sup> )				
	200	400	600	800	1000
20	50	102,2	154,5	206,3	257,4
25	48,9	100	151,2	201,9	251,9
40	45,5	93,3	141,2	188,6	235,4
60	40,8	84,1	127,5	170,4	212,6



## 4. Conclusion

Il ressort de cette étude que le fonctionnement des modules photovoltaïques est dépendant de la température. Les températures élevées réduisent le rendement des cellules photovoltaïques. Ce n'est donc pas forcément le soleil « brûlant » qui fournit plus de rendement. Nous avons utilisé le logiciel PVsyst pour simuler cette influence de la température sur l'efficacité des cellules PV considérant une cellule Si-poly 250Wp ayant 60 cellules. D'une part, l'irradiation est la cause principale de la production électrique des cellules, d'autre part, la température des cellules constitue un paramètre important pour son fonctionnement optimal. Ainsi, pour un rayonnement standard de 100 W/m<sup>2</sup>, aux températures de 20°C, 25°C, 35°C, 40°C, 45°C ; 50°C ; 55°C ; 60°C, la puissance maximale produite par ces cellules est de l'ordre de 257,4W ; 251,9W ; 241,0W ; 235,4W ; 229,8W ; 224,1W ; 218,4°W ; 212,6W.

## Références

- [1] - R. M. LAZZARIN, Solar cooling : PV or thermal ? A thermodynamic and economical analysis; *International Journal of Refrigeration*, Vol. 39, (2014) 38 - 47
- [2] - R. OPOKU, S. ANANE, I. A. EDWIN, M. S. ADARAMOLA, R. SEIDU, Comparative techno-economic assessment of a converted DC refrigerator and a conventional AC refrigerator both powered by solar PV; *International Journal of Refrigeration*, Vol. 72, (2016) 1 - 11
- [3] - A. AL-ALILI, Y. HWANG, R. RADERMACHER, A hybrid solar air conditioner : Experimental investigation; *International Journal of Refrigeration*, Vol. 39, (2014) 117 - 124
- [4] - M. IRANDOUST, The renewable energy-growth nexus with carbon emissions and technological innovation : Evidence from the Nordic countries; *Ecological Indicators*, Vol. 69, (2016) 118 - 125
- [5] - K. HASHIMOTOA, N. KUMAGAIB, K. IZUMIYAB, H. TAKANOB, H. SHINOMIYAB, Y. SASAKIB, T. YOSHIDAB, Z. K.TOHOKU, The use of renewable energy in the form of methane via electrolytic hydrogen generation using carbon dioxide as the feedstock; *Applied Surface Science*, Vol. 388, (2016) 608 - 615
- [6] - I. A. NIENHUESER, Y. QIU, Economic and environmental impacts of providing renewable energy for electric vehicle charging — A choice experiment study; *Applied Energy*, Vol. 180, (2016) 256 - 268
- [7] - M. KAHIA, M. S. B. AÏSSA, L. CHARFEDDINE; Impact of renewable and non-renewable energy consumption on economic growth : New evidence from the MENA Net Oil Exporting Countries (NOECs); *Energy*, Vol. 116, (2016) 102 - 115
- [8] - N. AFSHARZADE, A. PAPZAN, M. ASHJAEI, S. DELANGIZAN, S. V. PASSEL, H. AZADI, Renewable energy development in rural areas of Iran *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 65, (2016) 743 - 755
- [9] - C-A. GABRIEL, What is challenging renewable energy entrepreneurs in developing countries? *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 64, (2016) 362 - 371
- [10] - S. SEN, S. GANGULY, A. DAS, J. SEN, S. DEY, Renewable energy scenario in India : Opportunities and challenges; *Journal of African Earth Sciences*, Vol. 122, (2016) 25 - 31
- [11] - Y. YANG, H. S. SOLGAARD, W. HAIDER, Wind, hydromixed renewable energy source: Preference for electricity products when the share of renewable energy increases; *Energy Policy*, Vol. 97, (2016) 521 - 531
- [12] - J. J. MICHAEL, I. SA, R. GOIC, Flat plate solar photovoltaic—thermal (PV/T) systems : A reference guide; *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 51, (2015) 62 - 88
- [13] - SHIVASHANKAR, S. MEKHILEF, H. MOKHLIS, M. KARIMI, Mitigating methods of power fluctuation of photovoltaic (PV) sources; *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 59, (2016) 1170 - 1184
- [14] - C-T. CHANG, H-C. LEE, Taiwan's renewable energy strategy and energy-intensive industrial policy; *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 64, (2016) 456 - 465

- [15] - M. FARSHCHIMONFARED, J. I. BILBAO, A. B. SPROUL, Full optimisation and sensitivity analysis of a photovoltaic–thermal (PV/T) air system linked to a typical residential building; *Solar Energy*, Vol. 136, (2016) 15 - 22
- [16] - KHELIFA, K. TOUAFEK, H. B. MOUSSA, I. TABET, Modeling and detailed study of hybrid photovoltaic thermal (PV/T) solar collector; *Solar Energy*, Vol. 135, (2016) 169 - 176
- [17] - A. R. JORDEHI, Parameter estimation of solar photovoltaic (PV) cells : A review; *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 61, (2016) 354 - 371
- [18] - S. SKOURI, A. B. H. ALI, S. BOUADILA, M. B. SALAH, S. B. NASRALLA, Design and construction of suntracking systems for solar parabolic concentrator displacement; *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 60, (2016) 1419 - 1429
- [19] - D. STITOU, M. FEIDT, Nouveaux critères pour l’optimisation et la caractérisation des procédés thermiques de conversion énergétique ; *International Journal of Thermal Sciences*, Vol. 44 (2005) 1142 - 1153
- [20] - H. FATHABADI, Increasing energy efficiency of PV-converter-battery section of standalone building integrated photovoltaic systems; *Energy and Buildings*, Vol. 101, (2015) 1 - 11
- [21] - H. ELARGA, F. GOIA, A. ZARRELLA, A. D. MONTE, E. BENINI, Thermal and electrical performance of an integrated PV-PCM system in double skin façades: A numerical study; *Solar Energy*, Vol. 136, (2016) 112 - 124
- [22] - Y. ALOMAIR, M. ALOMAIR, S. MAHMUD, H. A. ABDULLAH; Theoretical and experimental analyses of solar-thermoelectric liquid-chiller system; *International Journal of Refrigeration*, Vol. 56, (2015) 126 - 139