



## Optimization of the Performance of a Photovoltaic Module by an Intelligent Solar Tracker

---

Hyacinthe Tchakounté, Claude Bertin Nzoundja Fapi and  
Martin Kamta

EasyChair preprints are intended for rapid dissemination of research results and are integrated with the rest of EasyChair.

March 29, 2022



# 1st International Conference on Engineering Sciences and Development (ICESD2022)

Bandjoun 2022

1ère Conférence internationale sur les sciences de l'ingénieur et le développement

<mailto://contact@iutentcam.org>



## OPTIMISATION DE LA PERFORMANCE D'UN MODULE PHOTOVOLTAÏQUE PAR UN SUIVEUR SOLAIRE INTELLIGENT

Hyacinthe Tchakounté  
Université de Ngaoundéré,  
Cameroun

[tchakountehyacinthe@gmail.com](mailto:tchakountehyacinthe@gmail.com)

Claude Bertin Nzoundja Fapi  
Université de Haute Alsace,  
France

[claude.nzoundja@uha.fr](mailto:claude.nzoundja@uha.fr)

Martin Kamta  
Université de Ngaoundéré,  
Cameroun

[martin.kamta@univ-ndere.cm](mailto:martin.kamta@univ-ndere.cm)

**Résumé:** L'énergie solaire est en particulier un facteur clé pour le développement socio-économique du fait qu'elle est renouvelable et non-polluante. Pourtant, le rendement des panneaux solaires reste encore bas de nos jours. Le présent travail a pour but d'optimiser la performance des panneaux solaires par la conception, réalisation et implémentation d'un suiveur solaire intelligent. Le suiveur solaire réalisé comprend des capteurs de lumière, un microcontrôleur, un moteur actionneur et un système mécanique articulé. Des expériences ont été menées à l'Université de Ngaoundéré avec deux panneaux solaires photovoltaïques identiques : l'un statique et incliné de la latitude du lieu et l'autre armé du suiveur réalisé. Les résultats de la mise en œuvre du suiveur solaire proposé montrent qu'il nécessite peu de maintenance, possède un taux de consommation énergétique de l'ordre de 0,22 % et de 0,14 % par rapport au gain énergétique obtenu respectivement pour un ciel nuageux et un ciel clair. En prenant en compte cette consommation du suiveur, le taux d'augmentation de l'énergie relativement au module PV fixe est de 22,45 % et 25,86 % respectivement pour un ciel nuageux et un ciel ensoleillé. Ces résultats importants peuvent permettre d'accroître considérablement le rendement des centrales solaires.

**Mots clés:** Optimisation, Performance, Panneau PV, Suiveur solaire intelligent, Microcontrôleur.

## 1. Introduction

Parmi les énergies renouvelables, l'énergie solaire photovoltaïque (PV) possède de nombreux atouts : disponible partout, non polluante et simple à implémenter. Cependant son rendement reste encore bas, d'où la nécessité de trouver des techniques pour l'augmenter. Plusieurs techniques d'optimisation de la performance de l'énergie solaire PV sont actuellement employées : la poursuite du point de puissance maximal, la poursuite de la position du soleil et l'optimisation basée sur la nature et la forme des cellules solaires PV [1, 2]. La poursuite de la position du soleil a jadis été abandonnée parce que les systèmes électromécaniques de positionnement consommaient beaucoup d'énergie. Mais avec les avancées technologiques dans le domaine de l'électronique il est désormais possible d'utiliser des circuits intégrés programmables peu énergivores en remplacement des circuits analogiques [3].

Plusieurs auteurs ont implémenté la poursuite de la position du soleil pour optimiser la production énergétique des modules PV. Les auteurs dans [4] ont proposé un suiveur deux axes

automatique avec un contrôleur d'angle altitude et azimut. Le suiveur utilise un algorithme à boucle ouverte contenant des équations préprogrammées de la position du soleil et un système auxiliaire composé d'un encodeur et d'un GPS. Ils obtiennent une augmentation du rendement énergétique de 26,9 % et de 12,8 % respectivement pour un ciel ensoleillé et un ciel nuageux. Comme autres résultats, le système consomme 5,6295 % de l'énergie générée. Dans [5], un suiveur solaire deux-axes utilisant les capteurs de lumière LDR est proposé pour suivre la position du soleil. Celui-ci est constitué d'un microcontrôleur et un système motorisé. Le gain énergétique mensuel moyen obtenu varie entre 17,20 % et 31,1 % comparativement au système fixe orienté de façon optimale. Dans [6], les auteurs ont proposé un suiveur solaire utilisant les mécanismes parallèles. Leur modèle dynamique est dérivé du principe des travaux virtuels. Ils font une comparaison entre un système similaire classique et obtiennent une réduction de 7,55 % sur la consommation de l'énergie mécanique. Un suiveur solaire utilisant l'intelligence artificielle. Ils utilisent la technique de la perception multicouche MLP (Multilayer perception) est présenté dans [7]. Les sorties de la régression logistique sont utilisées comme entrée pour le réseau de neurones. Le système proposé dans cette étude permet de prédire avec une meilleure précision le fonctionnement du suiveur. Dans [8], les auteurs ont développé un suiveur solaire deux-axes équipé d'une boussole satellitaire et d'un inclinomètre pour positionner automatiquement les surfaces solaires PV. Leur système n'a pas de capteurs puisqu'ils utilisent un algorithme de positionnement. Ils utilisent des servos moteurs comme actionneurs. Ils obtiennent ainsi un gain énergétique expérimental mensuel d'au moins 35,91 % comparativement à un système fixe.

Cependant plusieurs de ces travaux ne prennent pas en compte la consommation énergétique du suiveur qui est pourtant liée au gain énergétique. Le but du présent travail est de réaliser un suiveur solaire qui consomme très peu d'énergie et d'analyser sa performance relativement à un module PV fixe. En d'autres termes il est question de contribuer à optimiser l'énergie délivrée par le panneau solaire PV et son rendement de conversion selon son orientation et son inclinaison. Sachant que les modules PV à inclinaison fixe ne produisent qu'une faible puissance, le système de poursuite solaire permet d'orienter le module PV face au soleil à tout instant pour absorber le maximum d'énergie solaire incidente et fournir une énergie électrique importante. Ce dispositif se caractérise pratiquement par une inclinaison et une orientation variables simultanément suivant le changement de l'ensoleillement journalier et des saisons.

La suite de l'article s'articule comme suit : la description du système proposé est présentée à la Section 2. La méthode d'optimisation de la poursuite du soleil est décrite dans la Section 3. La Section 4 présente les résultats et discussion en se focalisant tout d'abord sur la mise en œuvre expérimentale et les résultats expérimentaux. Nous clôturons notre travail par une conclusion générale.

## 2. Description du système proposé

Le schéma synoptique du suiveur solaire photovoltaïque (PV) que nous avons réalisé est représenté par la Figure 1. Ce schéma est constitué de deux panneaux solaire PV identiques (l'un statique et l'autre équipé di suiveur) alimentant chacun une charge résistive de même valeur ( $R = 25,5 \Omega$ ). Pour chaque panneau solaire PV, on enregistre les données de la température de surface des panneaux PV, le courant et la tension délivré à la charge. On enregistre aussi les paramètres météorologiques tels que le rayonnement solaire et la température ambiante.

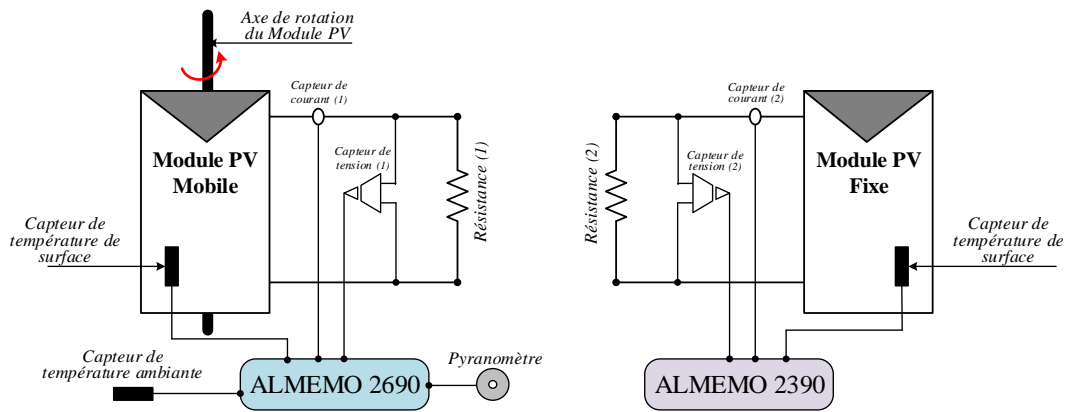


Figure 1 : Schéma synoptique du suiveur solaire.

### 3. Méthode d'optimisation de la poursuite du soleil

En partant du principe selon lequel la surface d'un module photovoltaïque (PV) doit toujours être normale au faisceau solaire, on retrouve le suiveur mono-axe qui permet une rotation selon l'axe passant par l'arbre du moteur et divisant la surface du module PV en deux parties égales. Le principe de fonctionnement repose sur l'algorithme de suivi décrit par l'organigramme de la Figure 2.

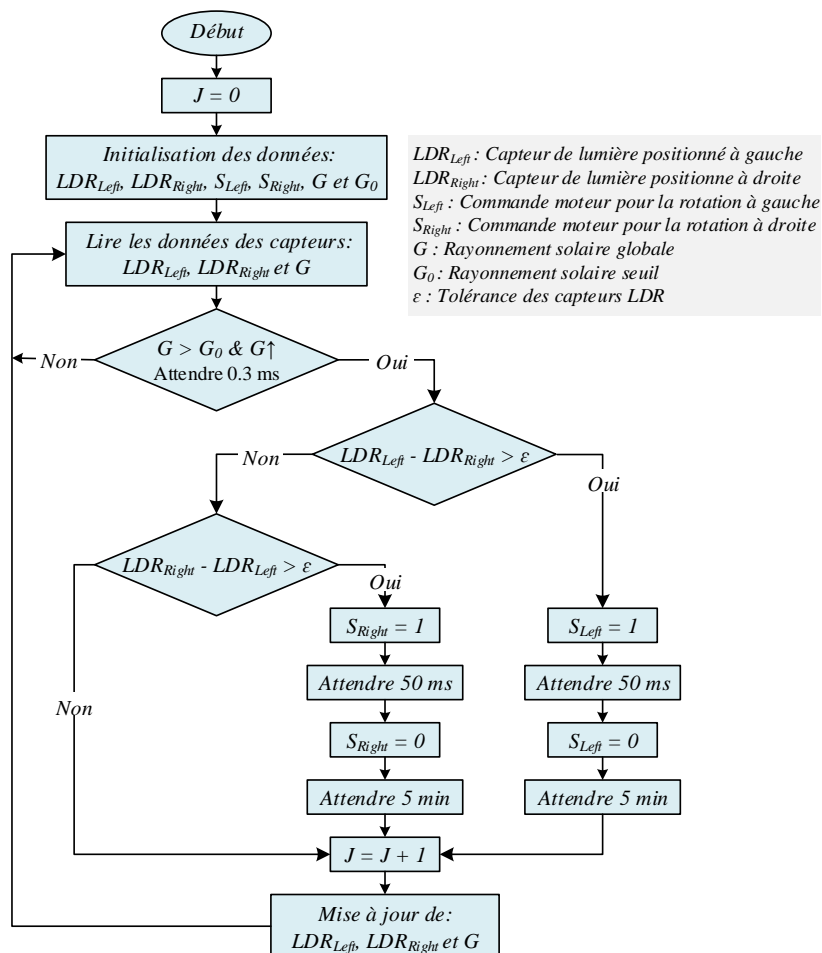


Figure 2 : Organigramme de la méthode de suivi solaire proposée.

D'après la Figure 2, les capteurs de lumière LDR récoltent en permanence la quantité de photons qui arrive des cotés gauche et droit du module PV. Le microcontrôleur compare et donne une instruction au moteur de déplacer la surface du module PV de façon à ce que qu'il u ait équilibre, c'est-à-dire que les deux capteurs reçoivent la même quantité à une tolérance près. Les relais électromagnétiques ouvrent le circuit moteur pour 50 ms et referment ensuite, permettant ainsi au suiveur de réaliser un suivi pas à pas afin d'économiser de l'énergie.

## 4. Résultats et discussions

Dans cette section, nous allons tout d'abord présenter le banc d'essai expérimental réalisé puis les résultats expérimentaux obtenus.

### 4.1. Mise en œuvre expérimentale

La Figure 3 présente le banc d'essai expérimental du suiveur solaire photovoltaïque (PV) réalisé à l'Université de Ngaoundéré pour la validation de notre expérience. Ce banc d'essai est l'implémentation du schéma synoptique présenté à la Figure 1 et commenté à la Section 2. Les données enregistrées en temps réel ont permis de tracer les différents profils de température, d'irradiance, de puissance consommée par le moteur et de puissance produit par les panneaux PV.

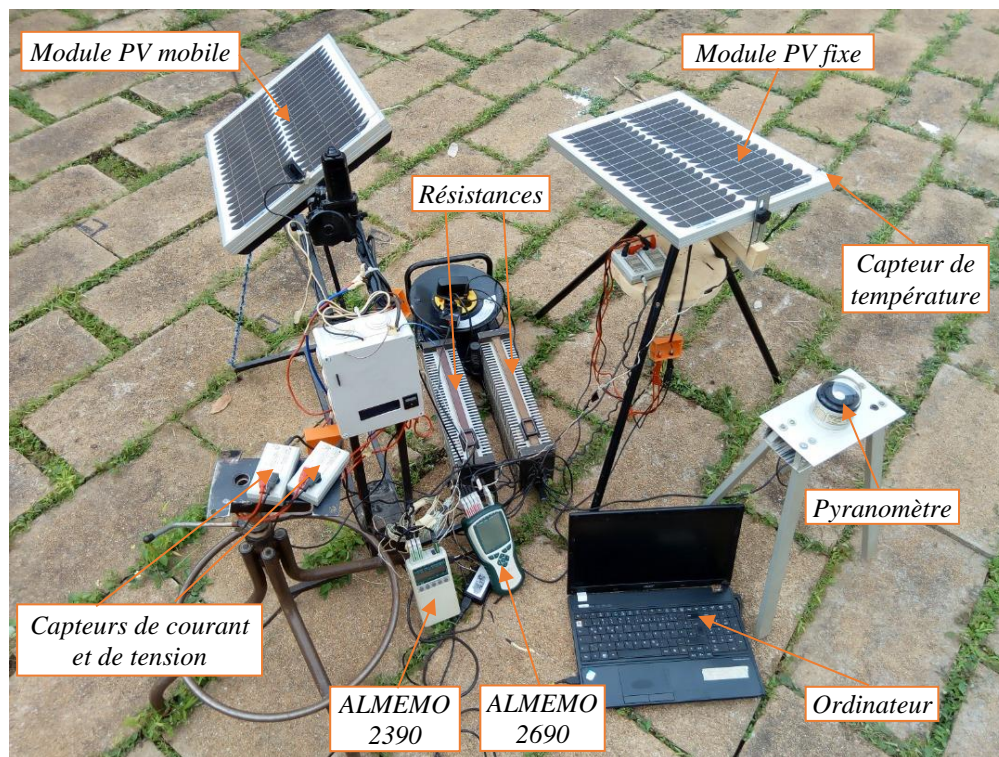


Figure 3 : Banc d'essai expérimental du suiveur solaire.

### 4.2. Résultats expérimentaux

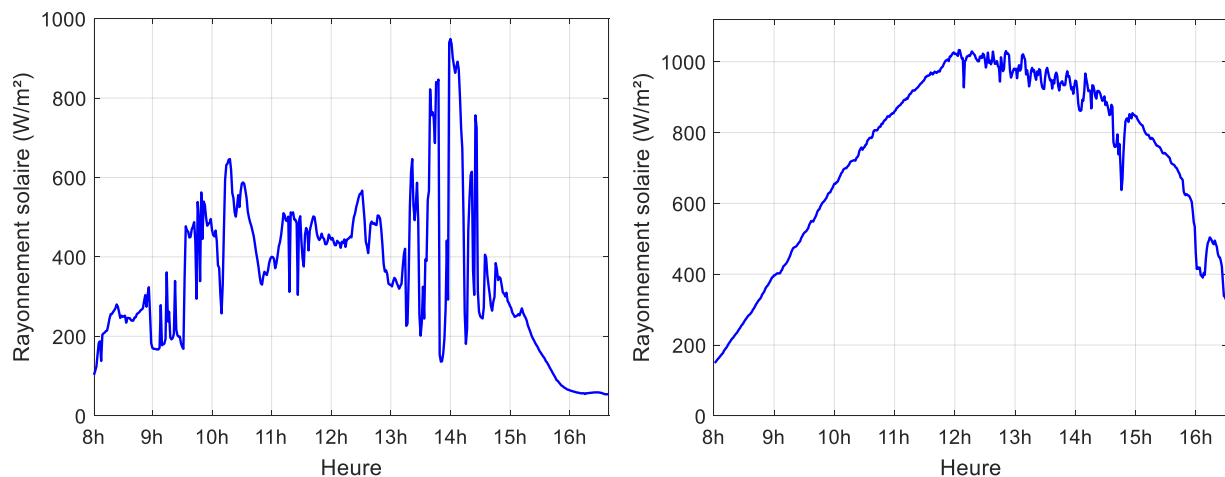
Les Figures 4 et 5 présentent le rayonnement solaire (irradiance) et les températures (température ambiante et température à la surface des panneaux fixe et mobile) enregistrés pendant les



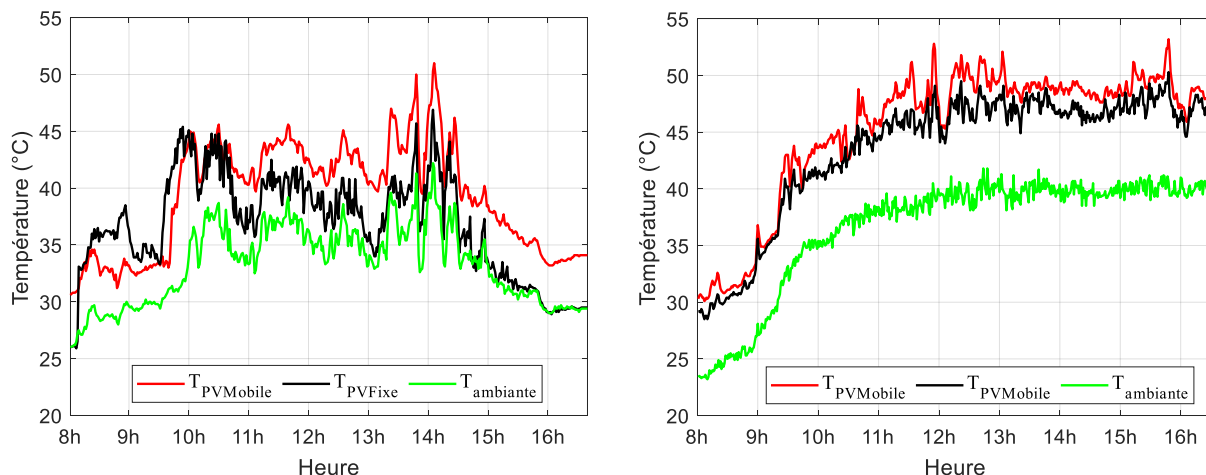
jours du 05/08/2018 et 04/02/2019. Ces jours correspondent respectivement aux jours de ciel nuageux et de ciel clair.

Le profil de l'irradiance de la journée du 05/08/2018 montre un ensoleillement fortement non linéaire. Cela peut s'expliquer du fait de la présence de nombreux nuages en saison pluvieuse. Par contre, celui de la journée du 04/02/2019 montre un profil croissant et qui se stabilise entre 12h et 13h avant de décroître régulièrement jusqu'à devenir négligeable vers 16h30. Cela est normal car au mois de février, nous sommes en saison sèche et elle se caractérise par un ciel complètement dégagé.

Les températures ont un comportement similaire à l'exception du fait qu'elles restent presque constantes pour un ciel clair de 11h à 16h30. De plus, pour les deux jours sélectionnés, la température ambiante est plus petite que la température de surface du panneau PV statique qui est plus petite que la température de surface du panneau PV mobile. Cela s'explique par le fait que la surface du panneau PV mobile est plus exposée au rayonnement solaire. Par conséquent engendrera plus de mouvement électronique et plus de recombinaison et d'où plus de chaleur dans le matériau.

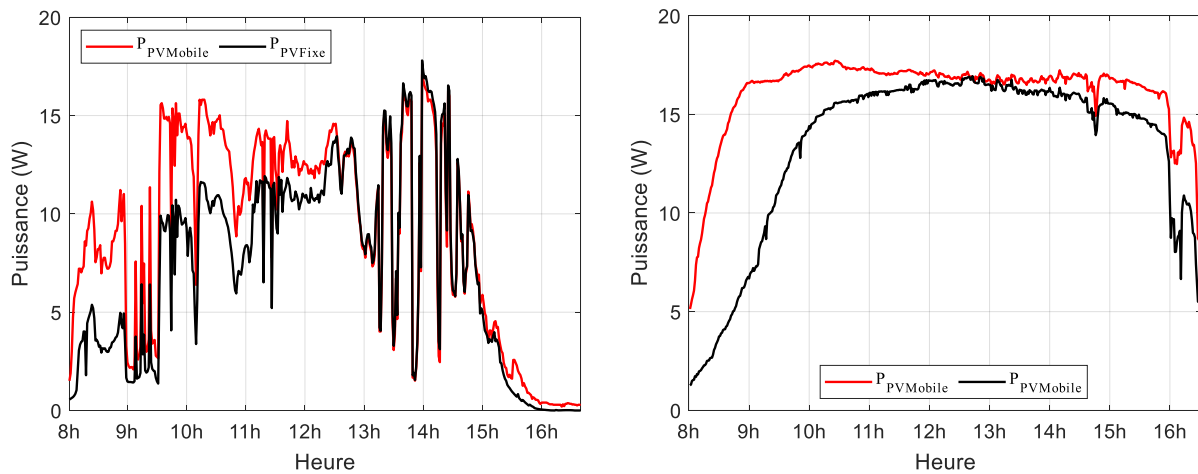


**Figure 4 :** Rayonnement solaire des journées de ciel nuageux (gauche) et ciel clair (droite).



**Figure 5 :** Températures des journées de ciel nuageux (gauche) et ciel clair (droite).

La Figure 6 présente les résultats de la puissance produite par les modules photovoltaïque (PV) mobile et fixe correspondant aux données enregistrées pendant les journées du 05/08/2018 (ciel nuageux) et du 04/02/2019 (ciel clair). On observe que pour la journée nuageuse, on gagne considérablement de l'énergie de 8h jusqu'à 13h. Cela montre que le prototype conçu est aussi adapté à ce type de journée car le suiveur analyse toujours en permanence l'irradiance avant de décider s'il doit se déplacer. Néanmoins ce gain diminue lorsque l'irradiance va en dessous de  $200 \text{ W/m}^2$ . Concernant la journée à ciel clair le suiveur permet de gagner considérablement et de façon progressive grâce à l'évolution croissante et plus ordonnée de l'irradiance. Ce gain s'annule entre 12h et 13h pour commencer à croître entre 14h et 16h30. Ces courbes permettent déjà de prédire un gain plus important pour un ciel clair. Cela s'explique du fait que la performance d'un module PV augmente avec l'irradiance.



**Figure 6 :** Puissance produite par les panneaux solaire fixe et mobile des journées de ciel nuageux (gauche) et ciel clair (droite).

### 4.3. Paramètres d'évaluation de la performance énergétique

Le bénéfice énergétique dû au suiveur est la différence entre l'énergie produite par le module photovoltaïque (PV) mobile et l'énergie produite par le module PV fixe comme indiqué dans l'équation 1.

$$E_g = E_{pvm} - E_{pvf} = \int_{t_1}^{t_2} (P_{pvm} - P_{pvf}) dt \quad (1)$$

où  $E_{pvf}$  et  $E_{pvm}$  sont respectivement l'énergie produite par les modules PV fixe et mobile.  $P_{pvf}$  et  $P_{pvm}$  sont leurs puissances correspondantes,  $t_1$  et  $t_2$  sont respectivement le temps initial et le temps final de l'expérience.

La fiabilité de cette étude reposant sur la minimisation de la consommation énergétique du suiveur, le bénéfice énergétique réel est la différence entre le bénéfice énergétique dû au suiveur et la consommation énergétique du suiveur comme indiqué dans l'équation 2.

$$\tau = E_g - E_{cs} \quad (2)$$

où  $\tau$  est le bénéfice énergétique réel,  $E_g$  est le bénéfice énergétique suiveur et  $E_{cs}$  est l'énergie consommée par le suiveur.

Le taux de profit énergétique net donné par l'équation 3 est le rapport entre le gain énergétique réel et l'énergie fournie par le panneau PV mobile.

$$\eta = \frac{\tau}{E_{pvf}} \times 100 \quad (3)$$

Le taux de consommation énergétique du suiveur est la proportion de l'énergie totale consommée par le suiveur et le bénéfice énergétique net dû au suiveur comme le montre l'équation 4.

$$\xi = \frac{E_{cs}}{\tau} \times 100 \quad (4)$$

Le Tableau 1 donne les résultats du calcul des énergies journalières produites par les deux panneaux PV (mobile et fixe) ainsi que l'énergie consommé par le dispositif de suivi solaire selon les équations 1, 2, 3 et 4 [9, 10, 11]. Le succès du prototype mécatronique proposé réside dans le fait qu'il permet d'avoir un taux de consommation du suiveur très bas comme l'indique le tableau suivant. Aussi on peut remarquer que le gain due au suiveur est vraiment considérable même pour des journées nuageuses.

**Tableau 1** : Bilan énergétique des panneaux solaire statique et mobile.

Désignations	Symboles	Valeurs journées		Unités
		Ciels nuageux	Ciel clair	
Energie délivrée par le panneau PV fixe	$E_{pvf}$	22,83	56,21	kWh/j
Energie délivrée par le panneau PV mobile	$E_{pvm}$	27,96	70,19	kWh/j
Gain énergétique total	$E_g$	05,13	13,98	kWh/j
Energie consommée par le suiveur	$E_{cs}$	11,90	19,09	Wh/j
Gain énergétique réel	$\tau$	05,11	13,96	kWh/j
Gain énergétique net	$\eta$	22,45	24,86	%
Taux de consommation énergétique suiveur	$\xi$	00,22	00,14	%

## 5. Conclusion

Le but de ce travail était de concevoir, réaliser et implémenter un suiveur solaire intelligent et peu énergivore capable d'optimiser la performance d'un module photovoltaïque (PV). Un algorithme économique en énergie et chargé dans un microcontrôleur a permis à un moteur de positionner la surface du module PV de façon à ce qu'elle reste toujours perpendiculaire au faisceau solaire. Des centrales d'acquisition haute-précision ont permis d'évaluer expérimentalement la puissance produite par deux modules PV identiques : l'un statique et l'autre équipé du suiveur réalisé. Les résultats montrent un taux de consommation énergétique de l'ordre de 0,22 % et de 0,14 % du dispositif de suivi par rapport au gain énergétique engrangé respectivement pour un ciel nuageux et un ciel clair. Cette consommation est vraiment très basse et permet ainsi de limiter les pertes énergétiques dues au suiveur. En prenant en compte cette consommation du suiveur, le taux d'augmentation de l'énergie relativement au module PV fixe est de 22,45 % et 25,86 % respectivement pour un ciel nuageux et un ciel ensoleillé. Ces résultats montrent que le prototype réalisé nécessite peu de maintenance, prend en compte les conditions météorologiques et est adapté pour l'optimisation des centrales solaires.



## Références

- [1] V. Sumathi, R. Jayapragash, A. Bakshi & P. K Akella, “Solar tracking methods to maximize PV system output–A review of the methods adopted in recent decade”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 74, pp. 130-138, 2017.
- [2] H. Tchakounté, C. B. N. Fapi, M. Kamta, Haman-Djalo & P. Woafu, “Performance Comparison of an Automatic Smart Sun Tracking System Versus a Manual Sun Tracking”, In *2020 8th International Conference on Smart Grid (icSmartGrid) IEEE*, pp. 127-132, June 2020.
- [3] M. Saeedi, & R. Effatnejad, “A new design of dual-axis solar tracking system with LDR sensors by using the wheatstone bridge circuit”, *IEEE Sensors Journal*, vol. 21, no. 13, pp. 14915-14922, 2021.
- [4] M. H. M. Sidek, N. Azis, W. Z. W. Hasan, M. Z. A. Ab Kadir, S. Shafie & M. A. M. Radzi, “Automated positioning dual-axis solar tracking system with precision elevation and azimuth angle control”, *Energy*, vol. 124, pp. 160-170, 2017.
- [5] F. M. Hoffmann, R. F. Molz, J. V. Kothe, E. O. B. Nara & L. P. C. Tedesco, “Monthly profile analysis based on a two-axis solar tracker proposal for photovoltaic panels”, *Renewable Energy*, vol. 115, pp. 750-759, 2018.
- [6] H. Cui, J. Wu, B. Zhang, L. Wang, & T. Huang, “Energy Consumption Comparison of a Novel Parallel Tracker and Its Corresponding Serial Tracker”, *Mathematical Problems in Engineering, Hindawi*, vol. 2021, 14 pages, 2021.
- [7] N. AL-Rousan, N. A. M. Isa, M. K. M. Desa & H. AL-Najjar, “Integration of logistic regression and multilayer perceptron for intelligent single and dual axis solar tracking systems”, *International Journal of Intelligent Systems*, vol. 36, no. 10, pp. 5605-5669, 2021.
- [8] C. H. Wu, H. C. Wang & H. Y. Chang, “Dual-axis solar tracker with satellite compass and inclinometer for automatic positioning and tracking”, *Energy for Sustainable Development*, vol. 66, pp. 308-318, 2022.
- [9] H. Tchakounté, C. B. N. Fapi, M. Kamta, Haman-Djalo & P. Woafu, “Experimental Assessment of a Smart Sun Tracking System Consumption for the Improvement of a Crystalline Silicon Photovoltaic Module Performance under Variable Weather Conditions”, *Applied Solar Energy*, vol. 55, no. 6, pp. 385-396, 2019.
- [10] M. Mollahasanoglu & H. İ. Okumus, “Performance Evaluation of the Designed Two-Axis Solar Tracking System for Trabzon”, *IETE Journal of Research*, vol. 67, no. 5, pp. 1-13, 2021.
- [11] H. Tchakounté, C. B. N. Fapi, M. Kamta, Haman-Djalo & P. Woafu, “Design, Experimental Implementation and Performance Comparison of Two Solar Tracking Approaches”, *Applied Solar Energy*, vol. 57, no. 1, pp. 44-58, 2021.