

Optimisation de l'Angle d'Inclinaison d'un Panneau Solaire

I. KECILI^a, S. AIT SAADA^a, R. NEBBALI^a

a. Laboratoire d'Energétique Mécanique et Matériaux. Université Mouloud Mammeri Tizi ouzou
Algérie.

Email: athcerr@outlook.fr

Résumé :

Afin d'améliorer la production d'électricité d'origine photovoltaïque (PV), les recherches se sont orientées vers le développement de nouveaux matériaux de cellules solaires et/ou leur refroidissement. D'autres techniques consistent à équiper les panneaux PV d'un traqueur bidirectionnel pour suivre la course du soleil dans le ciel. Une solution moins encombrante consiste à orienter le panneau PV dans la direction sud avec un angle optimal d'inclinaison. On trouve dans la littérature, diverses recommandations pour le choix de cet angle. L'objectif de ce travail est de proposer une méthode de calcul de cet angle optimal d'inclinaison d'un panneau PV qui permet de capter le maximum d'énergie solaire. Pour ce faire, on évalue pour différents angles d'inclinaisons de cette surface l'énergie incidente. Cette dernière est ensuite comparée à celle interceptée par la même surface perpendiculaire à ce rayonnement pour définir le taux d'énergie interceptée. En utilisant un algorithme génétique, on détermine l'angle optimal qui permet de maximiser ce taux. Les résultats obtenus traduisent les valeurs moyennes horaires, journalières et mensuelles des angles d'inclinaisons d'un panneau solaire selon la latitude du lieu.

Mots clefs : Algorithme génétique, efficacité, gisement solaire, photovoltaïque

1 Introduction

La demande en énergie électrique ne cesse d'augmenter pour subvenir aux différents besoins de la population mondiale. Les énergies fossiles, dont les gisements sont en voie d'épuisement, constituent la principale source de l'énergie électrique. Ce qui génère des gaz à effets de serre qui occasionnent le réchauffement climatique. Pour pallier ce problème, le recours aux énergies renouvelables, notamment le photovoltaïque, s'avère alors indispensable. Outre le souci d'améliorer le rendement des panneaux solaires photovoltaïques (PV), on se doit d'assurer une bonne exposition au soleil de ces panneaux PV. Pour ce faire, on utilise un traqueur bi-axial qui permet au panneau de suivre la course du soleil dans le ciel. Cette technique, onéreuse et encombrante, permet de capter le maximum d'énergie solaire. Par ailleurs, pour les journées nuageuses dont la composante diffuse du rayonnement solaire est prédominante, la position horizontale du panneau PV est recommandée [1,2].

Une autre technique moins performante, mais moins encombrante et avec des coûts moins élevés, constitue la solution la plus adoptée en pratique. Elle consiste à orienter les panneaux PV vers la direction sud selon une inclinaison donnée. Des études ont montré que pour une période d'une année, l'angle d'inclinaison optimal correspond à la latitude du lieu [3-6]. Un gain supplémentaire de 5% en énergie électrique produite est obtenu avec deux inclinaisons optimales réparties sur deux périodes de l'année [3]. En ajustant mensuellement l'angle d'inclinaison du panneau solaire à la valeur optimale associée à chaque mois de l'année, on réalise un gain de 8% en énergie solaire interceptée [5].

L'objectif de ce travail est de déterminer l'angle optimal d'inclinaison d'un panneau PV orienté vers le sud, qui permet d'approcher les performances d'un système traqueur. Trois cas de figure d'angles d'inclinaisons sont envisagés, à savoir : i). angle fixe durant toute l'année, ii). angle fixe durant chaque mois, iii). angle fixe durant chaque journée. La quantité d'énergie captée par un panneau PV selon ces trois approches est comparée à celle captée par ce même panneau muni d'un traqueur.

2 Méthode

2.1 Gisement Solaire

Le gisement solaire sur une surface est éminemment lié à la course du soleil dans le ciel. En effet, l'éclairement en un point donné de la surface de la terre varie au cours de la journée et de l'année. Il s'exprime pour une surface inclinée d'un angle i , par [7]:

$$G = S_h \cdot \frac{\cos(\alpha)}{\sin(h)} + D_h \cdot \frac{1 + \cos(i)}{2} + (S_h + D_h) \cdot \rho \cdot \frac{1 - \cos(i)}{2} \quad (1)$$

Où:

α : angle d'incidence formé par la direction du rayonnement et la normale au plan.

h : définit la hauteur du soleil, est l'angle formé par la direction du rayonnement et le plan horizontal, qui s'évalue par la relation suivante :

$$\sin(h) = \sin(\varphi) \sin(\delta) + \cos(\varphi) \cos(\delta) \cos(\omega) \quad (2)$$

φ : est la latitude du lieu.

δ : est la déclinaison du soleil définie par :

$$\delta = 23.45 \sin\left(\frac{360}{365}(j + 284)\right) \quad (3)$$

j : le quantième du jour de l'année.

ω est l'angle horaire donné par l'expression :

$$\omega = 15(\text{tsv} - 12) \quad (4)$$

tsv: temps solaire vrai.

S_h est la composante directe du rayonnement solaire sur un plan horizontal donné par l'expression suivant:

$$S_h = I_0 \cdot \tau_s \cdot \sin(h) \quad (5)$$

I_0 correspond au rayonnement solaire hors atmosphère exprimé par :

$$I_0 = 1367 \left(1 + 0.0334 \cdot \cos\left(\frac{j-4}{365} \cdot 360\right)\right) \quad (6)$$

τ_s : le facteur de transmission rayonnement direct dans l'atmosphère, défini par :

$$\tau_s = A \cdot e^{\frac{-B}{\sin(h)}} \quad (7)$$

A et B sont des facteurs de trouble qui caractérisent l'état du ciel. Dans ce travail, le cas d'un ciel pur est pris en considération pour lequel $A=0,87$ et $B=0,17$.

D_h : la composante diffuse du rayonnement solaire sur un plan horizontal, elle s'exprime par:

$$D_h = I_0 \cdot \sin(h) \cdot \tau_D \quad (8)$$

τ_D : le facteur de transmission du rayonnement diffus dans l'atmosphère :

$$\tau_D = 0,272 - 0,2939 \cdot \tau_s \quad (9)$$

L'intensité maximale de rayonnement solaire que pourrait intercepter cette surface est obtenue pour un angle d'incidence normal ($\alpha=0^\circ$), ce qui correspond à:

$$G_{\max} = S_h \cdot \frac{1}{\sin(h)} + D_h \cdot \frac{1+\sin(h)}{2} + (S_h + D_h) \cdot \rho \cdot \frac{1-\sin(h)}{2} \quad (10)$$

2.2 Rendement d'une Surface

Afin d'évaluer les performances d'un plan incliné, on compare celui-ci à un plan de même surface mais perpendiculaire au rayonnement incident. Ainsi, la fraction des quantités d'énergies interceptées à un instant t_0 par ces deux plans durant un intervalle de temps τ s'évalue par l'expression suivante :

$$\eta = \frac{\int_{t_0 - \frac{\tau}{2}}^{t_0 + \frac{\tau}{2}} G \, dt}{\int_{t_0 - \frac{\tau}{2}}^{t_0 + \frac{\tau}{2}} G_{\max} \, dt} \quad (11)$$

3 Optimisation

Afin de déterminer l'angle d'inclinaison optimal qui permettrait à une surface, orientée vers le sud, de capter le maximum d'énergie solaire, on maximise la fonctionnelle définie par la relation (11). Pour ce faire, on fait appel à une macro du logiciel Matlab qui traduit un algorithme génétique. A cet effet, trois cas de figure sont envisagés :

- **Cas n°1** : angle d'inclinaison optimal journalier (AOJ) « i_j »
Pour une journée j donnée, la fonctionnelle à maximiser prend la forme suivante :

$$\eta_j = \frac{E_j}{E_j^{\max}} \quad (12)$$

Où :

$$E_j = \int_{t_{ij}}^{t_{cj}} G(i_j) dt \quad (13)$$

$$E_j^{\max} = \int_{t_{ij}}^{t_{cj}} G_{\max} dt \quad (14)$$

t_{ij} et t_{cj} définissent respectivement les heures du lever et du coucher du soleil de la journée j .

Par ailleurs, on exprime la quantité d'énergie interceptée par cette surface inclinée selon un angle AOJ par:

$$Q_m^{\text{AOJ}} = \sum_{j=P_m}^{d_m} \left[\int_{t_{ij}}^{t_{cj}} G(i_j) dt \right] \quad (15)$$

m : le numéro du mois.

P_m : est le quantième du 1^{er} jour du mois m de l'année.

d_m : est le quantième du dernier jour du mois m considéré dans l'année.

- **Cas n°2** : Angle d'inclinaison optimal mensuel (AOM) « i_m »
En fixant l'angle d'inclinaison à une valeur i_m durant chaque mois de l'année, la fonctionnelle à maximiser devient :

$$\eta_m = \frac{E_m}{E_m^{\max}} \quad (16)$$

Avec :

$$E_m = \sum_{j=P_m}^{d_m} \left[\int_{t_{ij}}^{t_{cj}} G(i_m) dt \right] \quad (17)$$

$$E_m^{\max} = \sum_{j=P_m}^{d_m} \left[\int_{t_{ij}}^{t_{cj}} G_{\max} dt \right] \quad (18)$$

Par ailleurs, on exprime la quantité d'énergie interceptée par cette surface inclinée selon un AOM par:

$$Q_m^{AOM} = \sum_{j=P_m}^{d_m} \left[\int_{t_{lj}}^{t_{cj}} G(i_m) dt \right] \quad (19)$$

- **Cas n°3** : Angle d'inclinaison optimal annuel (AOA) « i_a ».
Avec un angle d'inclinaison fixe durant toute l'année, on évalue la fonctionnelle par l'expression suivante :

$$\eta_a = \frac{E_a}{E_a^{\max}} \quad (20)$$

Avec :

$$E_a = \sum_{j=1}^{365} \left[\int_{t_{lj}}^{t_{cj}} G(i_a) dt \right] \quad (21)$$

$$E_a^{\max} = \sum_{j=1}^{365} \left[\int_{t_{lj}}^{t_{cj}} G_{\max} dt \right] \quad (22)$$

La quantité d'énergie interceptée par cette surface inclinée selon un AOA par:

$$Q_m^{AOA} = \sum_{j=P_m}^{d_m} \left[\int_{t_{lj}}^{t_{cj}} G(i_a) dt \right] \quad (23)$$

Par ailleurs, la quantité maximale d'énergie que pourrait captée, durant un mois, cette même surface orientée perpendiculairement au rayonnement solaire avec un traqueur bi-axial s'exprime par:

$$Q_m^{\max} = \sum_{j=P_m}^{d_m} \left[\int_{t_{lj}}^{t_{cj}} G_{\max} dt \right] \quad (24)$$

Afin d'évaluer la performance d'une surface orientée vers le sud selon les angles AOJ, AOM et AOA, on définit les différents rendements de cette surface par les relations suivantes :

$$\eta_{AOJ} = \frac{Q_m^{AOJ}}{Q_m^{\max}} \quad (25)$$

$$\eta_{AOM} = \frac{Q_m^{AOM}}{Q_m^{\max}} \quad (26)$$

$$\eta_{AOA} = \frac{Q_m^{AOA}}{Q_m^{\max}} \quad (27)$$

4 Application

On se propose d'effectuer cette analyse pour le cas de la ville de Brest (latitude 48° 24' 0 N, longitude 4° 28' 59 O).

Il en ressort à travers les figures (1, 2) que les angles optimums journaliers et mensuels varient au cours de l'année. Ils sont importants en hiver, à cause de la faible hauteur du soleil dans le ciel, et faibles en été au regard de la hauteur élevée du soleil dans le ciel. Ces angles varient de 15 à 75°.

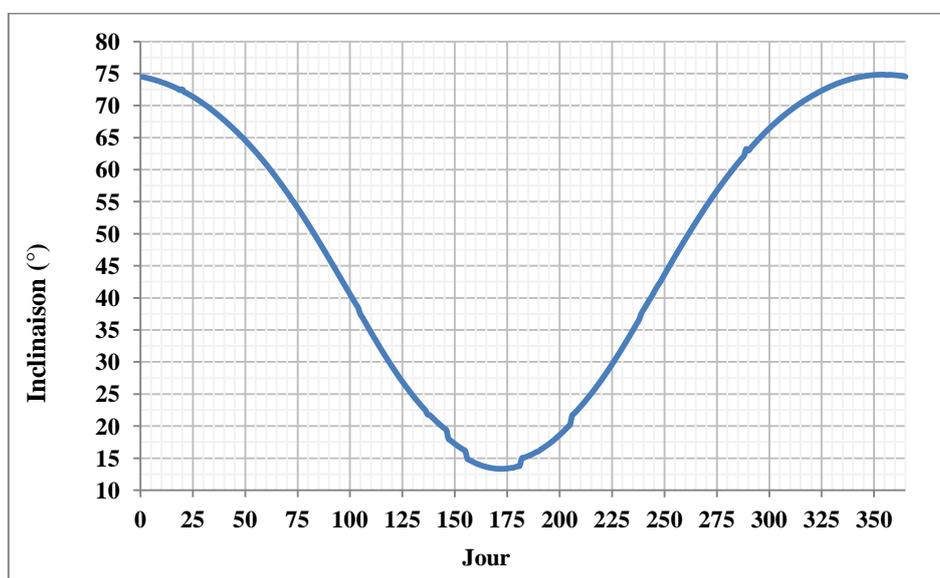


Fig.1 Evolution de l'angle d'inclinaison optimale journalier (AOJ) au cours de l'année.

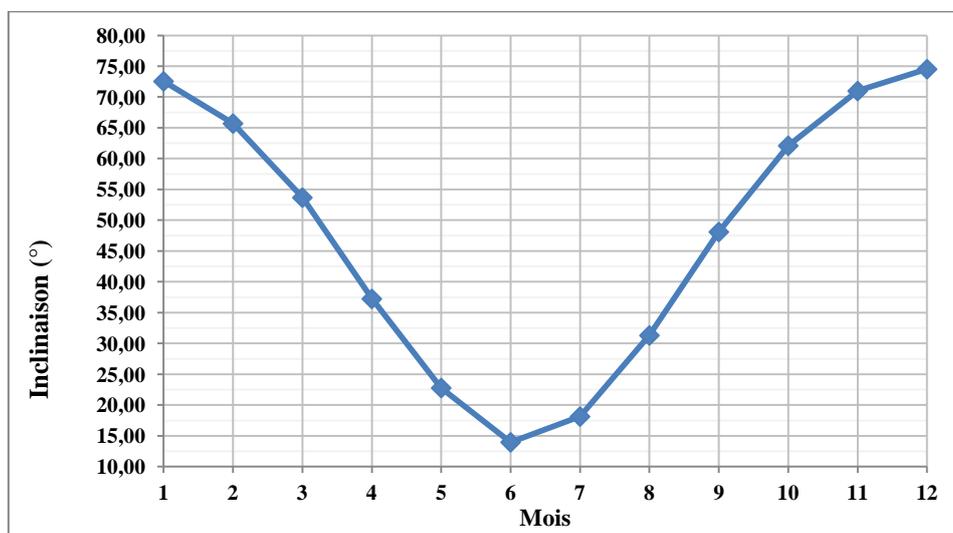


Fig.2 Evolution de l'angle d'inclinaison optimale mensuel (AOM) au des différents mois de l'année.

Le choix de l'angle d'inclinaison de cette surface influe considérablement sur les quantités d'énergie interceptée par cette surface durant un mois (Figure 3). En effet, ces quantités sont en été d'environ 260 kW.h/m² en ajustant l'angle d'inclinaison tous les jours (AOJ) ou tous les mois (AOM) alors qu'elle est de seulement 235kW.h/m² avec une inclinaison fixe durant toute l'année (AOA). En hiver, ces quantités sont de 120 kW.h/m² avec des ajustements journaliers et mensuels et 110 kW.h/m² avec un angle d'inclinaison fixe durant toute l'année.

Par ailleurs, il en ressort à travers la figure (4) qu'avec un angle d'inclinaison optimal fixe (AOA= 43°) durant toute l'année, le rendement de cette surface varie de 65 à 80% entre les périodes d'été et d'hiver. Ce rendement s'améliore considérablement en ajustant cet angle d'inclinaison tous les jours (AOJ) ou chaque mois (AOM). En effet, avec ces deux dernières configurations, on atteint des rendements variant de 72 à 92% entre les périodes d'été et d'hiver.

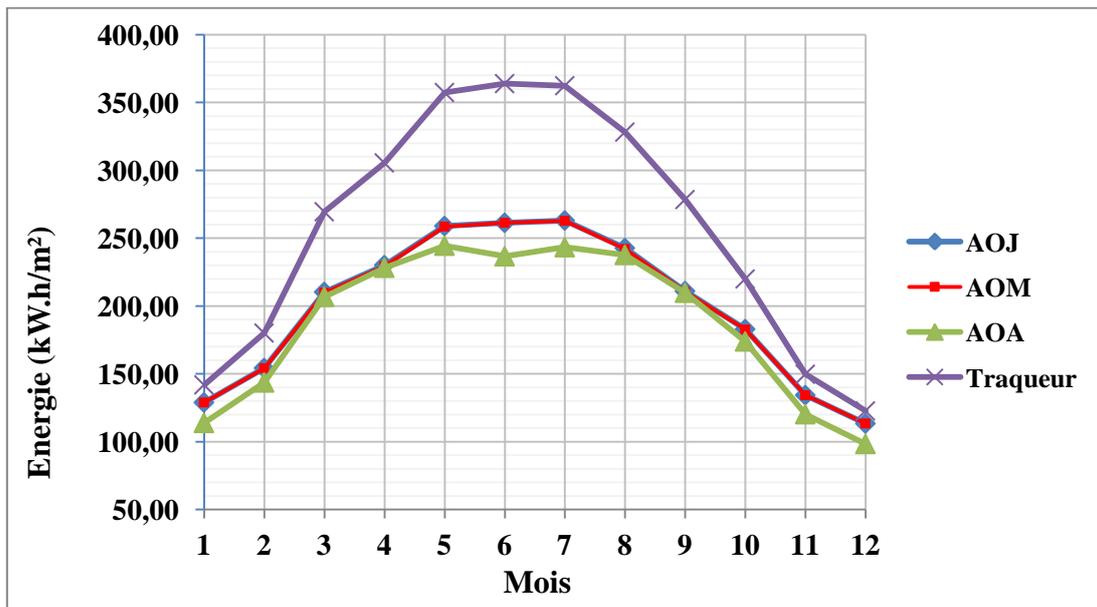


Fig.3 Evolution au cours de l'année des quantités mensuelles d'énergies interceptées par une surface orientée par un traqueur bi-axial et vers le sud avec des angles d'inclinaisons AOJ, AOM et AOA.

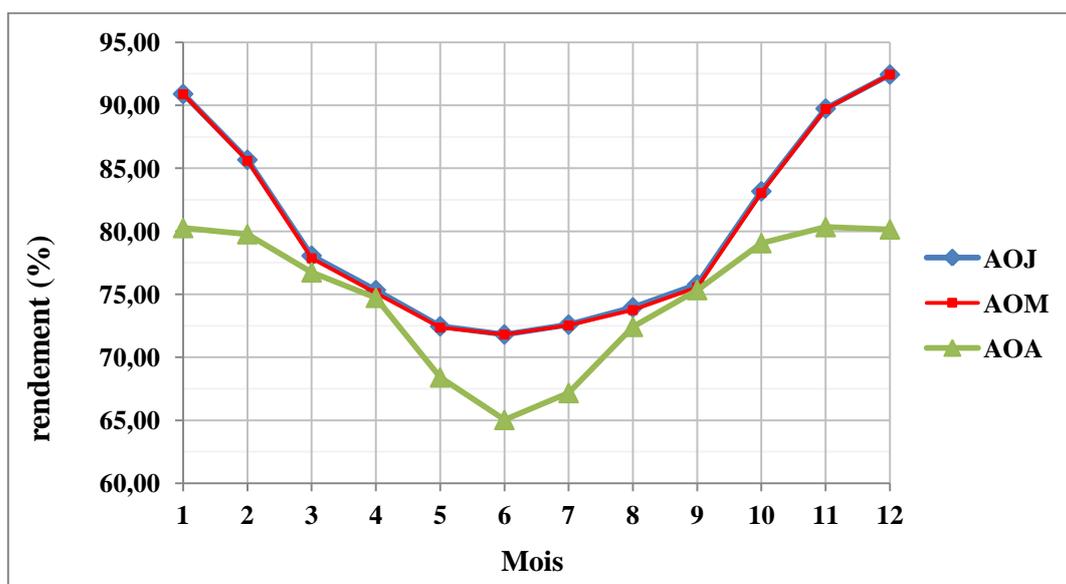


Fig.4 Evolution au cours de l'année des rendements des surfaces orientées vers le sud selon des angles d'inclinaisons AOJ, AOM et AOA.

5 Conclusion

Dans ce travail, on s'est proposé de déterminer l'angle d'inclinaison optimal d'un panneau solaire orienté vers le sud. Cette disposition a pour but de maximiser l'intensité de l'énergie solaire incidente. Pour ce faire, on a opté pour trois configurations d'angles d'inclinaisons ajustables quotidiennement, mensuellement et annuellement. L'angle optimal journalier (AOJ), l'angle optimal mensuel (AOM) et l'angle optimal annuel (AOA) ont été déterminés par un algorithme génétique. En guise d'application on a retenu la ville de Brest (latitude $48^{\circ} 24' 0''$ N, longitude $4^{\circ} 28' 59''$ O).

Les performances du panneau solaire incliné sont déterminées en comparant le panneau solaire orienté vers le sud selon les différentes configurations d'angles d'inclinaisons avec le cas de ce même panneau orienté perpendiculairement au rayonnement incident par un traqueur bi-axial.

Les résultats obtenus montrent que les configurations d'angles d'inclinaisons journalier (AOJ) et mensuel (AOM) permettent d'intercepter les mêmes quantités d'énergies. Elles représentent un taux de 72 et 92% de l'énergie maximale que peut intercepter ce même panneau équipé d'un traqueur bi-axial durant les saisons estivale et hivernale. Par ailleurs, pour un angle d'inclinaison optimal annuel (AOA) l'énergie interceptée est moindre. Elle représente un taux variant de 65 à 80% pour ces deux saisons.

Références

- [1] N. A. Kelly, T.L. Gibson, Improved photovoltaic energy output for cloudy conditions with a solar tracking system, Elsevier, Solar Energy 83 (2009) 2092–2102.
- [2] L. Guillon, G. Quesada, D.R. Rousse, An Experimental Validation of the Concept Critical Solar Radiation for Solar Tracking Systems, International Journal of Applied Science and Technology, Vol. 5, No. 3; June 2015.
- [3] M. Bojić, D. Bigot, F. Miranville, A. Parvedy-Patou, J. Radulović, Optimizing performances of photovoltaics in Reunion Island—tilt angle, Prog. Photovolt: Res. Appl. (2011).
- [4] M. Kacira, M. Simsek, Y. Babur, S. Demirkol, Determining optimum tilt angles and orientations of photovoltaic panels in Sanliurfa, Turkey, Elsevier, Renewable Energy 29 (2004) 1265–1275.
- [5] M. Benghanem, Optimization of tilt angle for solar panel: Case study for Madinah, Saudi Arabia, Elsevier, Applied Energy 88 (2011) 1427–1433.
- [6] S. Abdallah, S. Nijmeh, Two axes sun tracking system with PLC control, Elsevier, Energy Conversion and Management 45 (2004) 1931–1939.
- [7] N. Boukerzaza, Etude de l'effet des pertes thermiques sur les caractéristiques de fonctionnement d'un distillateur solaire, Thèse, Université Mentouri de Constantine.