Revue des Energies Renouvelables Vol. 14 N°1 (2011) 163 - 169
DOI: https://doi.org/10.54966/jreen.v14i1.249

Calcul de la durée optimale d'activité d'un module photovoltaïque en fonction de l'endroit

Mohamed Redha Rezoug[1*] et Abdelouahab Zaatri[2†]

[1] Laboratoire d'Electrotechnique, Faculté des Sciences de l'Ingénieur,
Université Mentouri, Campus Ahmed Hamani, Route Ain El Bey, Constantine, Algérie
[2] Laboratoire d'Electromécanique, Faculté des Sciences de l'Ingénieur,
Université Mentouri, Campus Ahmed Hamani, Route Ain El Bey, Constantine, Algérie

(reçu le 03 Novembre 2009 – accepté le 20 Février 2011)

Résumé - *Dans les études théoriques réalisées dans l'optique de perfectionnement des systèmes d'orientation et de conversion destinés à optimiser le rendement d'un système photovoltaïque, les facteurs influençant significativement sur le rendement et pris en compte ne sont pas totalement suffisants pour aboutir à l'optimum souhaité, cela est dû à l'omission quasi-totale d'un facteur primordial qui est bien l'intervalle du temps d'activité du module, c'est sur l'influence de ce paramètre que portera l'étude dans cet article. L'analyse du lieu et de la durée d'ensoleillement pour une installation photovoltaïque prennent la priorité avant toute étude d'optimisation. Les calculs sont faits sur une année pour estimer le gain énergétique du à la prise en compte de ce paramètre, un gain variable entre 0 et 4.5 % selon la période de l'année, confirmant en conséquence l'importance de cette étude.*

Abstract - *In the theoretical studies often carried with the perspective of improving the orientation and conversion systems and to optimize the performance of a photovoltaic system, the influencing factors that are taken into account do not fully lead to the desired optimum, this is due to the near-total omission of a crucial factor which is the interval time of panel activity. In this article we will study the influence of this parameter. The analysis of the place and duration of sunlight for the photovoltaic installation take priority before any other optimization study. Calculations were made throughout a year to help estimate the energy gain due to the inclusion of this parameter, a variable gain between 0 and 4.5% depending on the season of the year, therefore confirming the importance of this study.*

Mots clés: Système photovoltaïque – Durée d'ensoleillement – Installation photovoltaïque.

1. INTRODUCTION

Depuis l'antiquité, l'homme a eu toujours recours au soleil pour identifier approximativement le temps et l'emplacement. De nos jours et avec la découverte des photocellules, ce nouveau dispositif a exigé de l'homme une connaissance approfondie des périodes d'ensoleillement quotidien en fonction du temps et de l'endroit afin de tirer un profit maximum de l'énergie solaire.

2. NOTIONS ASTRONOMIQUES

Il est nécessaire de citer quelques définitions essentielles. Tout point de la terre est repéré par deux nombres, sa latitude et sa longitude:

1- La latitude: valeur angulaire, qui exprime le positionnement Nord-Sud d'un point sur terre (ou sur une autre planète), au nord ou au sud de l'équateur.

* reztalk@gmail.com
† zaatri@hotmail.com

2- La longitude: valeur angulaire, exprimant le positionnement Est-Ouest d'un point sur terre (ou sur une autre planète).

3- L'angle horaire du soleil: est le déplacement angulaire du soleil autour de l'axe polaire, dans sa course d'Est en Ouest, par rapport au méridien local. La valeur de l'angle horaire est nulle à midi solaire, négative le matin, positive en après-midi et augmente de 15° par heure (un tour de 360° en 24 heures) [1].

Comme ces notions sont purement astronomiques, et que cette étude ne concerne pas l'amélioration du rendement d'un module photovoltaïque, à contrario l'établissement des équations de la durée d'ensoleillement, nous incite à faire appel à ces derniers.

3. CALCUL DE LA DECLINAISON

La déclinaison est l'angle que fait le soleil au maximum de sa course (midi solaire) par rapport au plan équatorial. Sa valeur en degrés, est donnée par l'équation de Cooper [2]:

$$\delta = 23.45 \times \sin\left(2\pi \frac{284 + n}{365}\right) \quad (1)$$

où n est le jour de l'année (c'est-à-dire $n = 1$ pour le premier janvier, $n = 2$ le premier février, etc…). L'angle d'inclinaison varie entre -23.45 ° le 21 décembre et +23.45 ° le 21 Juin. Pour garder un calendrier vrai, nous calculons le rang du jour ' n ', lequel est donné par l'équation suivante:

$$N = N_1 - N_2 \times K + d - 30 \quad (2)$$

où:

N_1 : Partie entière $\left[(m \times 275) / 9\right]$

N_2 : Partie entière $\left[(m \times 9) / 12\right]$

$K = 1 + \text{Ent}[(a - 4 \times \text{Ent}[a/4] +) / 3]$

avec: d: jour du mois, m: mois, a: année.

La figure ci-dessous nous montre la variation de la déclinaison en fonction du jour julien pour un calendrier quelconque.

4. DUREE D'ENSOLEILLEMENT QUOTIDIEN

Avant d'entamer tout calcul, il est évident de procéder à des simplifications compte tenu de la complexité du système et cela comme suit:

Supposons que l'orbite est un cercle, le soleil réduit à un point et que l'axe de rotation de la terre est vertical, ce qui mène à situer l'équateur dans un plan horizontal.

Si nous souhaitons savoir comment varie la durée du jour durant l'année, cette durée semble être assez constante aux alentours des équinoxes. Il est vrai que le calendrier du facteur nous donne les heures de lever et de coucher du soleil. Mais à l'aide des formules, des graphes plus explicites peuvent être tracé, comme le montre la figure 2.

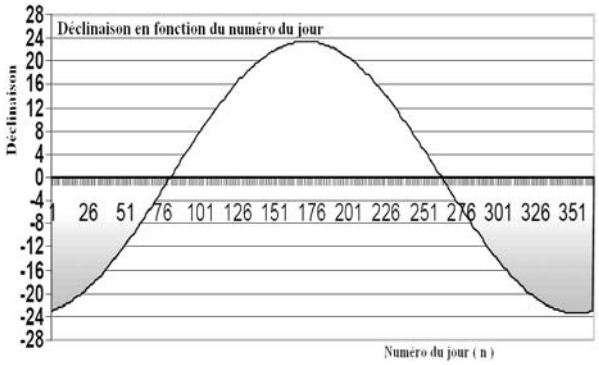

Fig. 1: Déclinaison en fonction du numéro du jour

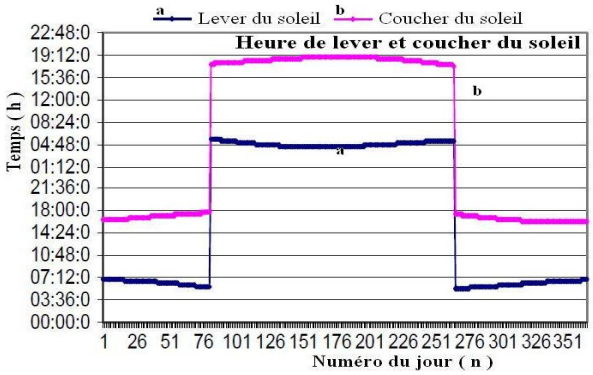

Fig. 2: Heure de lever et de coucher du soleil en fonction du jour julien

Cette courbe correspondante aux grandeurs sur la zone Constantine, coordonnées 'Latitude = 36° 20' 0" Nord, Longitude = 6° 40' 0" Est' pour l'année 2009.

Nous avons, dans un premier temps, déterminé l'heure de lever et de coucher du soleil, ce qui signifie la durée du jour, pour des latitudes 'LAT' et des longitudes 'LON' données. Un jour solaire est défini comme le temps moyen entre deux passages successifs du soleil au méridien local, et cette durée vaut 24 heures.

Sur la figure 3, on se rend bien compte qu'en 24 heures, la terre a tourné de plus de 360°, elle a donc fait plus d'un tour sur elle-même. L'angle supplémentaire (noté θ sur la figure 3) est égal à l'angle qu'a parcouru la terre autour du soleil en 24 heures.

Par conséquent, sachant que la terre effectue une rotation autour du soleil en 365.2564 jours (durée de l'année sidérale), le temps t_θ nécessaire pour tourner de l'angle θ vérifie $t_\theta / 24 = 1/365.2564$, soit $t_\theta = 3\,\text{min}\,56\,\text{s}$; donc la terre effectue une rotation de 360° en 23 h 56 min 4 s, c'est ce qu'on appelle le jour stellaire [3].

Pour calculer l'instant du lever ou du coucher d'un astre dont on suppose connu les coordonnées équatoriales approchées ϕ et H au moment du phénomène considéré, on calcule d'abord l'angle horaire H au moment du lever ou du coucher par la formule [1, 4].

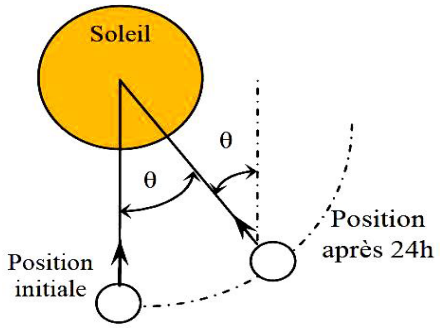

Fig. 3: Déplacement de la terre sur une trajectoire idéale circulaire autour du soleil

Le temps sidéral approché du lever et celui du coucher sont alors:

$$T = \phi - H$$

$$T = \phi + H$$

Nous avons obtenu les équations reliant la hauteur h et l'azimut A du soleil dans le plan horizontal pour la latitude ϕ à la déclinaison δ_s et à l'angle horaire H du soleil.

$$\begin{cases} \cos h \times \cos A = \sin\phi \times \cos\delta_s \times \cos H - \cos\phi \times \sin\delta_s \\ \cos h \times \sin A = \cos\delta_s \times \sin H \\ \sin h = \cos\phi \times \cos\ \delta_s \times \cos\ H + \sin\phi \times \sin\delta_s \end{cases} \quad (3)$$

On rappelle qu'à midi vrai, $H = 0$ et que H varie de 15° par heure (il est négatif le matin et positif le soir).

Partant de l'équation (3), on peut déduire les angles horaires du coucher et du lever du soleil en posant $H = 0$, ce qui conduit à:

$$\cos\ H = -\tan\phi \times \tan\ \delta_s \quad (4)$$

Et comme la fonction cosinus étant paire, les angles horaires du lever et du coucher du soleil sont parfaitement symétriques par rapport au midi vrai défini par $H = 0$.

$$\begin{cases} H_{lever} = -\arccos\left(-\tan\phi \times \tan\delta_s\right) \\ H_{coucher} = \arccos\left(-\tan\phi \times \tan\delta_s\right) \end{cases} \quad (5)$$

Mais à cause de l'équation du temps, les heures réelles du lever et du coucher du soleil doivent être décalées d'une quantité Δt , telle que définie par l'équation (6):

$$\begin{cases} H^*_{lever} = 12 - \arccos\left(-\tan\phi \times \tan\delta_s\right) \times \dfrac{12}{\pi} + \dfrac{\Delta t}{60} \\ H^*_{coucher} = 12 + \arccos\left(-\tan\phi \times \tan\delta_s\right) \times \dfrac{12}{\pi} + \dfrac{\Delta t}{60} \end{cases} \quad (6)$$

La durée du jour correspond au temps écoulé entre le lever et le coucher du soleil, Elle se calcule selon l'expression suivante:

$$\begin{aligned} D_{jour} &= H^{*}_{coucher} - H^{*}_{lever} \\ D_{jour} &= 2\times\arccos\left(-\tan\phi\times\tan\delta_s\right)\times\frac{12}{\pi} \end{aligned} \quad (7)$$

Elle est indépendante de ΔT, cela exige une correction des hypothèses précédemment supposées. La fonction arc cosinus est décroissante sur l'intervalle [-1, 1], donc pour une latitude positive, la durée du jour sera maximale, lorsque la déclinaison sera maximale, et elle est minimale lorsque la déclinaison est minimale, ce qui correspond aux solstices d'été et d'hiver.

Nous avons vu précédemment que du fait de l'ellipticité de la trajectoire de la terre et de l'inclinaison de son axe de rotation par rapport au plan de l'écliptique, deux corrections devaient être introduites pour calculer la position du soleil par rapport au cas idéal d'un mouvement circulaire dans le plan de l'équateur.

La somme de ces deux corrections, appelée équation du temps, donne l'écart ΔT (minute) entre le temps moyen et le temps vrai. L'équation du temps s'annule quatre fois par an, aux environs du 16 avril, 13 juin, 2 septembre et 25 décembre. Elle atteint son minimum (-16 minutes 25 secondes) le 3 novembre et son maximum (14 minutes 14 secondes) le 11 février (calculs pour l'année 2009) [3, 5, 6].

$$\Delta T = \left(C + R\right)\times\frac{60}{15} \quad (8)$$

Du fait que, la trajectoire de la terre est une ellipse, par conséquent, sa position n'est plus une fonction linéaire de la date julienne, elle se déplace plus rapidement lorsqu'elle est près du Soleil que lorsqu'elle est éloignée (seconde loi de Kepler, ou loi des aires).

Pour tenir compte de l'ellipticité de la trajectoire, on doit corriger M d'une quantité C appelée équation du centre, de manière à obtenir l'anomalie vraie:

$$C = \eta\sin(M) + 0.02\times\sin(2M) + \Delta\sin(3M) \quad (9)$$

avec: $\eta = 1.9148\,°$ et $\Delta = 0.0003\,°$

On appelle anomalie moyenne (notée M), l'angle parcouru sur ce cercle par la terre par rapport à une position de référence. On calcule donc d'abord l'anomalie moyenne M en fonction du jour julien J (l'utilisation des jours juliens permet une numérotation continue des jours, indépendamment de la durée des années):

$$M = M_0 + M_1(J - J_{2000}) \quad (10)$$

avec: $J_{2000} = 2451545$, $M_0 = 357{,}5291\,°$ et $M_1 = 0.9856\,°/\text{jour}$ pour la terre.

La valeur de M_0 correspond à la position de la terre le 1er janvier 2000 à 12 h (UTC) par rapport à la position de référence (le périhélie). On peut en déduire que la terre est au plus près du soleil vers le 3 janvier, et seuls les habitants de l'hémisphère sud sont en droit de penser qu'il fait plus chaud quand le soleil est plus proche.

La conversion d'une date du calendrier classique (calendrier grégorien) en jour julien est obligatoire pour le calcul.

La détermination de l'équation du temps dépend du calcul des deux facteurs de correction qui sont respectivement C et R. On a calculé C, il nous reste à déterminer

R qui est le facteur de correction pour la déclinaison de l'axe de rotation de la terre qu'on a supposé auparavant vertical [6, 7].

$$R = -2.468° \times \sin(2\lambda_s) + 0.053° \times \sin(4\lambda_s) - \wp \times \sin(6\lambda_s) \quad (11)$$

avec: $\wp = 0.0014°$ et $\lambda_s = 280{,}47° + M_1(J - J_{2000}) + C$

λ_s est la longitude écliptique.

La résultante de cette partie de calcul précise la plage réelle du temps d'ensoleillement quotidien durant un an pour une zone géographique repérée par son azimut, comme l'illustre la figure 4.

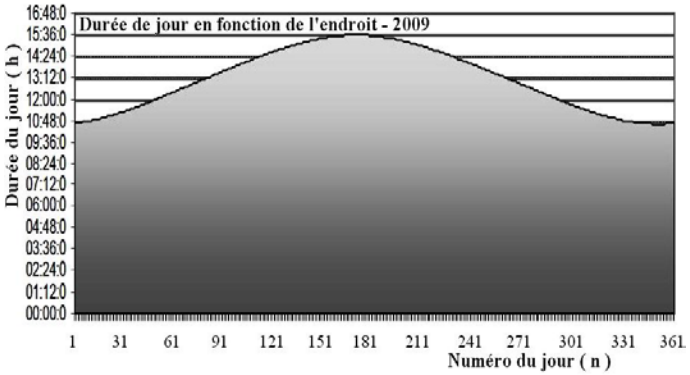

Fig. 4: Durée du jour en fonction du numéro du jour, (année 2009)

5. CONCLUSION

Pour choisir l'emplacement adéquat de l'installation d'un module photovoltaïque, la latitude est un paramètre à prendre en compte et qui s'impose indirectement au fur et à mesure dans les calculs, comme le montre cet article.

Afin de préciser l'heure de mise en marche / arrêt du module photovoltaïque, l'estimation de la durée de son activité 'durée d'insolation' n'est pas fructueuse pour un meilleur rendement, d'où on a tiré l'intérêt d'examiner une autre voie, qui consiste bien à raisonner sur l'heure de lever et coucher du soleil qui s'avère concluante pour un bonne optimisation.

Cette étude est réalisée sous l'environnement visuel basic avec une visualisation Excel. Et cette dernière est applicable à tout le territoire national, ainsi qu'à d'autres régions à condition de prendre en considération le décalage horaire 'Zone du temps (+GMT) : 1.0'.

NOMENCLATURE

UTC : Temps universel coordonné de Greenwich

GMT : Greenwich Mean Time

LON : Longitude

LAT : Latitude

M : Anomalie moyenne

J : Fonction du jour julien

H : Angle horaire du soleil

h : Hauteur

A : Azimut du soleil dans le plan horizontal local ;

ϕ : Latitude

δ_s : Déclinaison

6. REFERENCES

[1] R. D'Hollander, '*L'Astrolabe - Histoire, Théorie et Pratique*', Institut Océanographique Ed, 1999.

[2] Logiciel, '*RETScreen ® International Centre d'Aide à la Décision sur les Energies Propres*', Numéro de Catalogue: M39-99/2003F-PDF © Ministre de Ressources naturelles Canada 2001 - 2004.

[3] A. Vial, '*Quelques Idées Reçues sur la Position du Soleil*', Bulletin de l'Union des Physiciens, N° 897, pp. 959 – 980, 2007.

[4] D. Goldberg, '*What Every Computer Scientist Should Know About Floating-Point Arithmetic*', ACM Computing Surveys, Vol. 23, N°1, pp. 5 - 48, 1991. http://portal.acm.org.

[5] M. Koussa, A. Malek, M. Haddadi, '*Apport Energétique de la Poursuite Solaire Sur Deux Axes Par Rapport Aux Systèmes Fixes. Application Aux Capteurs Plans*', Revue des Energies Renouvelables, Vol. 10, N°4, pp. 515 – 537, 2007.

[6] P. Brizemur, '*Stellarium Jour Sidéral, Equation Temps*', IUFM, Paris 21 Février 2006.

[7] A. Vienne, Laboratoire d'Astronomie de Lille de l'Institut de Mécanique Céleste et de Calcul des Ephémérides Lille 1, 'LAL-IMCCE', Observatoire de Paris, UMR 8028, CNRS.