

Dimensionnement d'une installation solaire pour maison isolée à Béjaia

Zrourou L., Tamadrari S., Alkama R. et Arkoub M.

Résumé- Dans cette communication, nous présentons le dimensionnement et les performances d'une installation photovoltaïque pour l'alimentation en courant continu (DC) d'une maison type F3 à Béjaia. Les besoins énergétiques de la maison en termes d'éclairage, de pompage d'eau et des commodités nécessaires à la vie moderne ont été estimés. Ceci a permis de calculer le nombre de panneaux photovoltaïques et de batteries nécessaires ainsi que le régulateur de charge.

En se basant sur une durée de vie de 30 ans et sur les prix des différents éléments de l'installation incluant la maintenance, le coût du kWh a été évalué. Sa comparaison avec celui d'une installation diesel trouvé par d'autres auteurs a montré une compétitivité certaine de l'installation photovoltaïque en continu.

Les mesures effectuées sur site ont permis de relever l'ensoleillement et les fluctuations du rayonnement solaire avec quelques facteurs météorologiques.

Mots clés : Alimentation PV, dimensionnement, maison isolée, coût kWh, Béjaia.

I. INTRODUCTION

La croissance de la demande des populations en énergies et la limitation des ressources classiques, fait que l'énergie solaire devient très intéressante dans plusieurs domaines, en apportant une solution réellement économique et écologique.

On estime qu'actuellement plus de deux milliards de personnes ne sont pas reliées à un réseau électrique et ne le seront pas dans un avenir proche pour des questions de rentabilité liées à l'éloignement, à la faible densité de population, à la pauvreté ou au manque de besoins. Pour ces populations, les systèmes solaires autonomes peuvent jouer un rôle très important (éclairage, pompage...etc.).

Pour alimenter une maison isolée en énergie solaire, il faudrait prévoir la production et le stockage de l'électricité pour l'éclairage, les appareils électroménagers et le pompage d'eau. Le chauffage est assuré par un capteur solaire thermique qui sort du cadre de cette étude.

Zrourou L., Tamadrari S., Alkama R. et Arkoub M.
Laboratoire de Génie Electrique, Université de Béjaia, Algérie
arkoub_m@yahoo.fr

La quantité de lumière captée par les panneaux solaires dépend inévitablement des conditions météorologiques (température ambiante, humidité relative...).

Le choix et le dimensionnement des différents éléments de l'installation solaire doivent tenir compte des besoins énergétiques et de l'aspect économique.

II. ESTIMATION DES BESOINS ENERGETIQUES D'UNE MAISON

Sur la figure 1 est représenté le schéma du système à dimensionner.

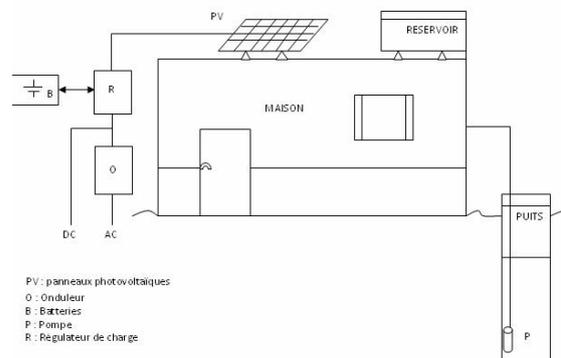


Fig. 1 : Schéma de l'installation photovoltaïque pour maison isolée

Nous avons calculé l'énergie journalière consommée par une maison solaire de type F3, de surface environ 85 m².

Les différentes applications des systèmes photovoltaïques sont : l'éclairage, le pompage, la réfrigération et le matériel audio visuel.

Pour l'éclairage 7 lampes économiques de 10 W sont nécessaires.

Les réfrigérateurs ou les congélateurs de type solaire 12 ou 24V qui ont un volume voisin de 100 litres consomment environ 600 Wh/jour. Le matériel audiovisuel (TV, demo, Hi-Fi) de type 12 V consomment 50 W avec un temps d'utilisation de 6 heures.

Les systèmes de pompage les plus répandus fonctionnent avec un débit d'eau proportionnel à l'énergie lumineuse reçue et stocke l'eau dans un réservoir pour les utilisations

nocturnes. Avec une hauteur manométrique totale moyenne de l'ordre de $h=24$ m (l'eau est à une profondeur moyenne de 20m et le réservoir de stockage est à 4 m au dessus du sol) et un débit $Q=0,5m^3$ /heure la puissance P_p du groupe moteur - pompe peut être calculée par la formule (1) [1]:

$$P_p = \rho g h Q / \eta \quad (1)$$

$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ est la masse volumique de l'eau, $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ est l'accélération de l'apesanteur et $\eta = 0,4$ est le rendement du groupe moteur – pompe. Le résultat est approximativement de 80 W

Pour un besoin de 2 m^3 par jour, la pompe doit fonctionner durant 04 heures, de préférence entre 11heures et 15heures au moment où l'éclairement solaire est maximal.

Le tableau 1 résume les puissances des différents éléments ainsi que les temps d'utilisation.

TABEAU 1
BESOIN ENERGETIQUE JOURNALIER D'UNE MAISON AUTONOME

Charge	Puissance (W)	Temps utilisation (heure)	Energie/ jour (Wh/j)
7 lampes (DC)	$7 \times 10 = 70$	04	280
Réfrigérateur (DC)	25 (en moy)	24	600
2 Ventilateur (DC)	$2 \times 50 = 100$	04	400
TV+ Démo (DC)	50	06	300
Pompe (DC)	80	04	320
Total	300		1900

En tenant compte des puissances des composants alimentés en courant continu (DC) et du temps d'utilisation, nous obtenons une consommation journalière $E_j = 1900 \text{ Wh/jour}$.

III. DIMENSIONNEMENT DE L'INSTALLATION

Nous devons calculer le nombre de panneaux photovoltaïques nécessaires, dimensionner les batteries de stockage, le régulateur et la section des câbles.

A. Panneaux photovoltaïques

La surface $S(\text{PV})$ des panneaux photovoltaïques nécessaire pour produire cette puissance peut être calculée par la formule de l'équation (2) [2].

$$S(\text{PV}) = E_j / (H \eta_{\text{PV}} f_T \eta_b) \quad (2)$$

Où $\eta_{\text{PV}} = 12 \%$ est le rendement des modules photovoltaïques,

f_T est le coefficient de correction de température pris égal à 0,8 (la température maximale du panneau mesurée n'a pas dépassé $60 \text{ }^\circ\text{C}$), $\eta_b = 0,85$ est le rendement des batteries et H est la moyenne de l'irradiation solaire reçue.

Dans le cas du site de Béjaïa de latitude nord $36^\circ 45'$ et de longitude est $05^\circ 05'$ les tables de la NASA surface meteorology and solar energy [3] donnent une moyenne mensuelle minimale sur 22 ans de $7,27 \text{ kWh/m}^2/\text{jour}$ obtenue pour le mois de Février.

La surface calculée ainsi est $S(\text{PV}) = 3,203 \text{ m}^2$.

Le nombre de panneaux solaires monocristallins (TE1300, 125 Wc, 17,9V, 150x68x3,5 cm) nécessaires est 4. Pour cette gamme de puissance les 4 panneaux seront connectés en parallèle et l'installation sera en 12 V.

Avec une intensité solaire crête de 1000 W/m^2 , la puissance crête du générateur obtenue est :

$$P_c = \text{Nbre panneaux} \times \text{surf panneau} \times \text{intensité crête} \times \text{Rendement PV} = 4 \times 1,5 \times 0,68 \times 1000 \times 0,12 = 489,6 \text{ W.}$$

B. Dimensionnement des batteries

Dimensionner les batteries, c'est choisir un stockage tampon permettant de s'affranchir des variations climatiques temporaires, à l'échelle de l'heure, de la journée et de quelques jours de mauvais temps. Ainsi après le calcul de l'énergie consommée E_j (Wh/j), on choisit le nombre de jours d'autonomie N dont on souhaite bénéficier, on utilise la profondeur de décharge maximale acceptable par la batterie D et on calcule la capacité C de la batterie en appliquant la formule (3).

$$C = E_j N / (\eta_b D U) \quad (3)$$

où U est la tension de la batterie.

Avec 3 jours d'autonomie, une profondeur de décharge maximale de 0,85 et une tension de batterie de 12 V, nous obtenons une capacité $C = 657,4 \text{ Ah}$.

On peut utiliser 6 batteries de 110 Ah / 12 V.

C. Dimensionnement du régulateur:

Le régulateur contrôle la charge et la décharge des batteries. Le dimensionnement de la régulation de charge (à l'entrée) est fonction de la puissance du générateur. Tandis que le dimensionnement de la régulation de décharge (à la sortie) est fonction de la puissance totale des récepteurs.

Ainsi, il faut tenir compte du courant de charge maximale que les modules sont susceptibles

de débiter (on prend 1,5 fois le courant de court circuit total des modules qui est de 7A) et du courant de sortie du régulateur qui doit être supérieure à la valeur maximale appelée par les récepteurs.

Soit un courant d'entrée $I_c = 1,5 * 4 * 7 = 42A$ et un courant de sortie $I_s = 1,5 * 300/12 = 37,5A$.

D. Dimensionnement des câbles

La chute de tension admissible pour la liaison panneau-régulateur est $\Delta U = 0,5 V$ et la distance maximale tolérée entre le champ et la batterie est $L = 10$ mètres.

La section du câble S_c se calcule à partir du courant de sortie I_s et de la résistivité ρ_c du cuivre par l'équation (4).

$$S_c = \rho_c I_s L / \Delta U \quad (4)$$

$$S_c \geq 1,6 \cdot 10^{-8} * 37,5 * 10 / 0,5 = 12 \text{ mm}^2.$$

IV. COUT DU SYSTEME

Les prix des éléments de l'installation en continu sont rassemblés dans le tableau 2. Nous avons utilisé les prix réels de notre matériel acheté en mars 2008.

TABLEAU 2
COUT DE L'INSTALLATION EN CONTINU

Désignation	Nbre	Prix unit HT (DA)	Prix tot HT (DA)
Modules 125Wc	4	63000	252000
Batterie 110Ah	6	5000	30000
Régulateur 40A	1	7500	7500
		Prix tot	289 500

Dans le cas où les éléments fonctionnent en courant alternatif (AC), un onduleur est nécessaire, les puissances des différents éléments augmentent. Il faudrait 7 lampes de 15 W, un réfrigérateur de 130 W, 2 ventilateurs de 110 W, un ensemble TV de 100 W et une pompe de 120 W. Avec les mêmes temps d'utilisation qu'en DC nous obtenons une consommation journalière $E_j = 5500 \text{ Wh/jour}$. Ceci demande une surface photovoltaïque de $9,09 \text{ m}^2$ et donc 10 panneaux solaires (2 en série, 5 ensembles en parallèle). La capacité de batterie nécessaire est 1903 Ah ce qui nécessite 18 batteries de 110 Ah. Avec un régulateur de 50 A (10 000 DA) et un onduleur 24 V/220 V (50 000 DA) le coût de revient de l'installation est de 780 000 DA. Il est beaucoup plus élevé (presque 3 fois plus).

En assumant une durée de vie de 6 ans pour les batteries et 30 ans pour les autres éléments, nous pouvons évaluer le prix du kWh produit. Nous supposons les prix des batteries identiques sur toute la période (l'inflation est juste compensée par les baisses constatées des prix du matériel électrique et électronique). Le coût de maintenance annuelle du système est majoré par 1 % du prix initial.

Coût total (sur 30 ans) = $289 500 + 4 * 30000 + 2895 * 30 = 496 350 \text{ DA}$

Energie consommée en 30 ans = $1900 * 365 * 30 = 20 805 \text{ kWh}$

Le prix du kWh est donc 23,85 DA.

Si ce prix est trop cher par rapport au kWh du réseau public il est comparable au prix obtenu avec une alimentation par groupe électrogène (diesel) [1] [4] qui est de 0,37 \$ soit $0,37 * 71,9 = 26,6 \text{ DA}$ avec toutefois une pollution sonore et atmosphérique en moins.

V. DONNEES EXPERIMENTALES DU SITE DE BEJAIA

Nous avons installé des panneaux solaires orientés plein sud avec une inclinaison de 45°C (la latitude de Béjaia est de $36^\circ 45'$). Nous avons effectué des enregistrements de l'éclairement mesuré à l'aide d'un capteur solaire, du courant et de la tension délivrés par un panneau solaire connecté à une charge optimale. A l'aide d'une station météorologique Oregon Scientific, nous avons enregistré les paramètres météorologiques (température ambiante, humidité relative...). Les prélèvements se font toutes les 10 minutes pendant six mois (février – juillet 2009).

Comme le montre la figure 2, l'ensoleillement peut varier fortement entre deux journées successives : 29 avril journée nuageuse très perturbée et 30 avril journée de beau temps.

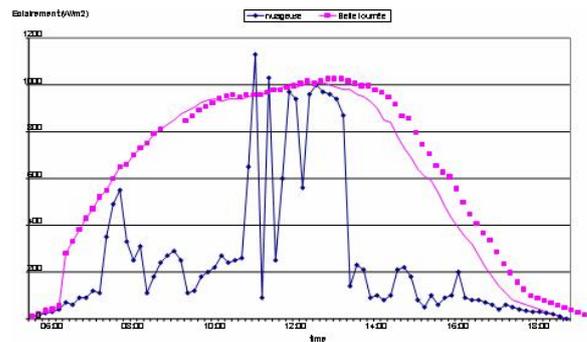


Fig. 2 : Eclairement en fonction du temps pour 2 journées différentes.

Le courant débité par les panneaux solaires est proportionnel à l'éclairement. Le facteur de corrélation est de 0,956. La tension varie moins avec l'éclairement.

Comme le montre la figure 3 la puissance générée par le panneau solaire est intimement liée à l'éclairement.

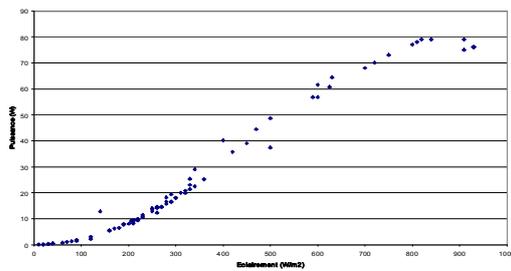


Fig. 3 : Puissance générée par le panneau en fonction de l'éclairement.

L'ensoleillement est très dépendant des facteurs météorologiques [5]. La figure 4 montre les variations importantes de température et du taux d'humidité relative sur une période de 10 jours (du 1^{er} au 10 juin 2009). Nous remarquons clairement qu'elles varient en sens opposés.

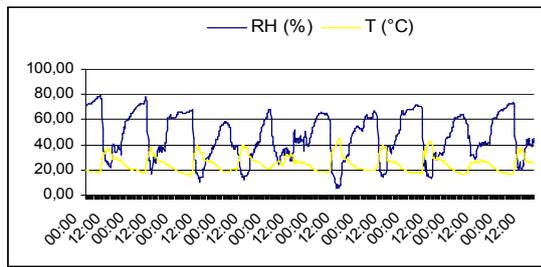


Fig. 4 : Variation de température et de l'humidité relative du 1^{er} au 10 juin 2009

L'analyse des régressions entre l'éclairement et les paramètres météorologiques a donné les coefficients de corrélation suivants :

Eclairement - température : $R = 0,88$

Eclairement – Humidité relative $R = -0,64$

Généralement l'augmentation de température est liée à un bon ensoleillement sauf dans le cas de vent de sable venant du Sahara que nous n'avons pas à traiter. Ce qui explique la forte corrélation positive. L'humidité est formée de vapeur d'eau qui réfléchit et diffracte les rayons solaires et réduit ainsi l'ensoleillement [6].

VI. CONCLUSION

L'alimentation photovoltaïque directement et complètement en courant continu (DC) peut être très compétitive du point de vue économique. Le coût du kilowattheure est nettement réduit qu'avec l'installation en alternatif (AC). Par rapport à l'alimentation diesel d'une maison isolée, le système photovoltaïque en continu est plus compétitif d'autant plus qu'il utilise une énergie propre et renouvelable. Les améliorations constantes du rendement PV et des coûts de production permettront plus de compétitivité.

Cependant la disponibilité et le prix du matériel électrique et électroménager fonctionnant directement en continu reste un problème.

REFERENCES

- [1] G.E. Ahmed "Photovoltaic-powered rural zone family house in Egypt," Renewable Energy, no. 26, pp 379-390, 2002.
- [2] M. Buresch "Photovoltaic energy systems," Mc Graw-Hill, New York, 1983.
- [3] Site <http://eosweb.larc.nasa.gov/sse> disponible le 9 septembre 2009
- [4] O.U. Oparaku "Rural area power supply in Nigeria: a cost comparison of the photovoltaic, diesel/gasoline generator and grid utility options" Renewable Energy, no. 28, pp 2089-2098, 2003.
- [5] Abdalla YAG. "New correlation of global solar radiation with meteorological parameters for Bahrain. Int J Sol Energy VOL. 16, pp. 111-120, 1994.
- [6] Gwandu B.A.L. and Creasy D.J. « Humidity : a factor in the appropriate positioning of a photovoltaic power station", Renewable Energy, Vol. 6 Issue 3, 1995, PP313-316.