

Dimensionnement d'un Système de Pompage Photovoltaïque Application sur le Site de Ouargla

M. L. LOUAZENE¹, D. KORICHI², B. AZOUI³

¹Université de Ouargla, Email : lakhdar.louazene@gmail.com

²Université de Ouargla, Email : _dkorichi@gmail.com

³Université de Batna, Email : azoui_b@yahoo.com

Résumé—Dans nos jours, la demande d'eau est de plus en plus très importante, en particulier dans les zones rurales et les sites isolés où l'accès à l'énergie classique est difficile voir pratiquement impossible. Ce phénomène a fait qu'un intérêt grandissant est porté sur l'utilisation des générateurs photovoltaïques comme nouvelle source d'énergie. La réalisation d'un système de pompage photovoltaïque autonome, fiable et à bon rendement, constitue une solution pratique et économique au problème du manque d'eau, en particulier, dans les régions désertiques. En effet, un système photovoltaïque devient intéressant lorsqu'il est facile à installer, avec une autonomie acceptable et une excellente fiabilité de service.

Mot Clés—Pompage d'eau, Générateur photovoltaïque, Dimensionnement, Ouargla.

I. INTRODUCTION

Dans ce travail, nous détaillons bien l'étude et le dimensionnement du système de pompage photovoltaïque. Il est alors intéressant d'appliquer les techniques étudiées sur un site réel pour valider la méthode choisie et d'en tirer des conclusions.

Pour cette étude pratique, nous avons choisi la vallée de la wilaya de Ouargla. Ouargla est une ville au sud-est Algérien. Elle est caractérisée par un climat saharien, une énergie d'ensoleillement de plus de 5 kWh/m² par jour et des ressources importantes d'eau souterraine [1].

Dans ce travail, nous étudions le dimensionnement d'un système de pompage PV fonctionnant par la méthode dite « au fil de soleil ». Le stockage de l'eau est réalisé par le biais d'un réservoir afin d'irriguer une surface d'un hectare de palmiers. Pour effectuer et présenter les calculs, nous avons utilisé Microsoft Excel.

II. Spécification du site de Ouargla

Pour le site de Ouargla, les spécifications sont données dans le tableau suivant [2]:

Tableau I
Spécifications du site de Ouargla

Latitude : 31N	Longitude : 5°24'E
Altitude : 141m	Albédo : 0.35

III. Les composants d'un système de pompage PV

Un système de pompage solaire est généralement constitué de [3]:

- ✓ Le générateur photovoltaïque,
- ✓ Le groupe électropompe,
- ✓ L'électronique de commande et de contrôle,
- ✓ La partie stockage,

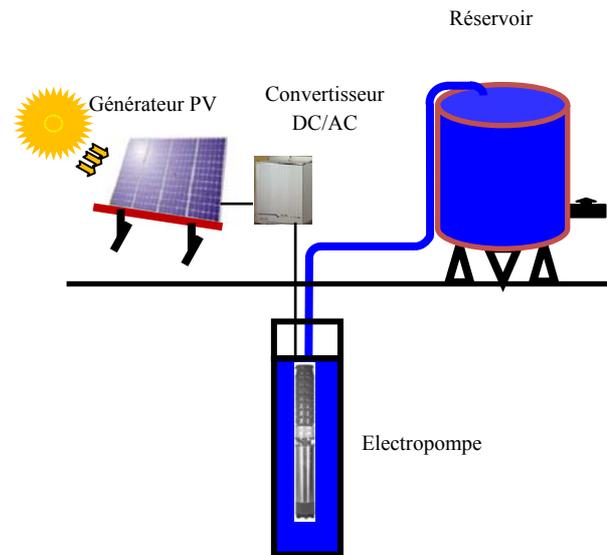


Fig. 1. Schéma synoptique simplifié de Pompage PV.

IV. Les étapes de dimensionnement de l'installation

Les différentes étapes pour le dimensionnement d'un système de pompage sont :

- ✚ Evaluation des besoins en eau
- ✚ Calcul de l'énergie hydraulique nécessaire
- ✚ Détermination de l'énergie solaire disponible
- ✚ Choix des composants

IV-1 Estimation des besoins en eau

Les besoins d'eau pour l'irrigation dépendent du type de culture, de la méthode d'irrigation et des facteurs météorologiques (la température, l'humidité, la vitesse du vent, l'évapotranspiration du sol, et la saison de l'année en question). Cependant, la pratique et l'expérience locale restent toujours très indispensables pour une évaluation correcte des besoins. Les besoins d'eau des palmiers pour la région de Ouargla sont donnés dans le tableau suivant [4]:

Tableau II
Les besoins journaliers moyens mensuels
en eau des palmiers / hectare

Période	L'Evert			Le printemps		
	Mois	Déc.	Jan	Fév.	Mar	Avril
Eau(m^3/j)	13	10	22	36	49	62
Période	L'été			L'automne		
	Mois	Jun	Juil.	Aout	Sep	Oct.
Eau(m^3/j)	67	66	64	50	35	18

IV-2 Rayonnement solaire

Le tableau ci-après donne les valeurs de rayonnement global journalier calculées sur la moyenne mensuelle pour des rayons incidents sur un plan incliné d'un angle optimal saisonnier sur le site de Ouargla [3].

Tableau III
Les valeurs globales de l'irradiation journalière mensuelle pour une
inclinaison optimale saisonnière

Période	L'hiver			Le printemps		
	Mois	Déc.	Jan	Fév.	Mar	Avril
$\bar{H}_{To} [wh/m^2/j]$	5157	6245	6431	5835	6531	6398
Période	L'été			L'automne		
	Mois	Jun	Juil.	Aout	Sep	Oct.
$\bar{H}_{To} [wh/m^2/j]$	7037	7164	6717	5851	5969	5933

IV-3 Hauteur manométrique total

Pour notre station de pompage, nous avons choisi une hauteur manométrique totale de 45 m. Elle correspond à la nappe du Mio-Pliocène qui est utilisée depuis 1883 pour l'irrigation des palmiers.

V. Dimensionnement de la station de pompage

Le dimensionnement du système de pompage PV concerne : le calcul de la puissance crête du générateur photovoltaïque, le choix de la pompe et le choix de l'onduleur répondants au service requis dans les conditions de référence. Ce dimensionnement prend en considération les deux conditions suivantes [5] :

- Choisir les besoins journaliers en eau durant la période de besoin maximal.
- Choisir le mois où l'ensoleillement maximal est le plus faible.

Pour notre exemple, le débit journalier maximal requis est de 67 (m^3/j) pendant le mois de juin et l'énergie d'ensoleillement la plus faible pour la saison d'été est égale à 6700 [$wh/m^2/j$] pendant le mois d'aout.

Pour dimensionner la station de pompage, nous suivons les étapes suivantes :

V-1 Choix de la pompe

Nous choisissons la pompe en fonction du débit et de la hauteur manométrique totale [6].

Débit horaire :

Il est calculé par la formule suivante :

$$Q_h = \frac{Q[m^3/jour]}{h} \quad (1)$$

Avec h : le nombre d'heures d'ensoleillement maximal;

Dans notre cas, nous prenons :

$$\begin{cases} h = 6.7 \text{ heures} \\ Q = 67 [m^3/jour] \end{cases}$$

Par conséquent, le débit horaire est le suivant :

$$Q_h = 10 m^3/h \quad (2)$$

Pour notre étude, le choix de la motopompe utilisée est porté sur une gamme de pompes immergées proposées par le constructeur PANELLI. Cette gamme est constituée de pompes de dimensions différentes ; chaque type de pompe est disponible avec un nombre de roues variables afin d'obtenir le point de fonctionnement requis. Les types des pompes sont donnés dans le tableau 4 [7].

Tableau IV

Caractéristiques électriques d'une gamme de pompes PANELLI

Pompe	P (kW)	η (%)	Φ (m^3/h)	H(m)
95 PR15N/7	0.37	60	2.5	38
95 PR15N/10	0.55	60	3.33	48
95 PR15N/13	0.75	60	5	42
95 PR15N/18	1.5	60	9	32
95 PR12N/9	2.2	60	10.5	45
95 PR12N/12	3	60	12	55
95 PR12N/16	4	60	13.5	68
95 PR12N/22	5.5	60	15	82
95 PR12N/29	7.5	60	18	71

Selon nos besoins, d'une part, un débit horaire de 10 m^3/h , et une hauteur manométrique totale de 45 m, d'autre part, la motopompe adéquate sera alors la pompe 95PR12N/9. La figure ci-après illustre ses caractéristiques techniques.

Dimensionnement de la pompe

Profondeur (m)	45		Energie Hydraulique (Wh/j)	8216
Besoins journalier (m ³)	67		Energie Électrique (Wh/j)	15215
Débit Horaire (m ³ /h)	10			

Données de la pompe

Manufacturier	PANELLI
Type	95 PR6N/17
Débit nominal	10,5
Puissance (W)	2200
Tension (V)	3*220
Rendement (%)	60



Fig. 2. Caractéristiques électriques de la pompe 95PR12N/9.

V-2 La capacité du réservoir

Rappelons que la technique de pompage choisi pour notre cas est le pompage dit « au fil de soleil ». Le stockage de l'eau est effectué dans un réservoir. La capacité de ce dernier est calculée pour répondre au besoin d'eau pendant les jours d'autonomie. Celui-ci varie d'un à plusieurs jours. Pour notre exemple, la capacité de stockage est calculée pour assurer deux jours d'autonomie.

V-3 Le convertisseur DC/AC (onduleur)

Il a pour rôle, la conversion du courant continu produit par les panneaux en courant alternatif identique à celui du réseau. Il est donc indispensable pour l'alimentation des charges à courant alternatif. Le choix de l'onduleur dépend des caractéristiques électriques de la pompe alimentée (puissance, tension). Pour le besoins de notre étude, le convertisseur choisit est présenté dans le tableau suivant [8]:

Tableau V
Caractéristiques électriques de l'onduleur

Type	Puissance. (Watts)	Tension d'entrée(V)	Tension Sortie(V)	Fréq (HZ)
D'onduleur Solardrive 4000	4000	240	3*220	0 :65

V-4 Calcul de l'énergie hydraulique

quotidienne requise

Une fois les besoins nécessaires en volume d'eau pour chaque mois de l'année et les caractéristiques du puits sont définis, nous pouvons calculer l'énergie hydraulique moyenne journalière et mensuelle nécessaire à partir de la relation [9] :

$$E_h = C_h \cdot Q \cdot H_{MT} \quad (3)$$

Avec :

- E_h : Énergie hydraulique [kwh/j]
 - C_h : Constante hydraulique[kg. s. h/m²]
 - Q : Volume d'eau [m³/jour]
 - H_{MT} : Hauteur manométrique total [m]
- Où :

$$C_h = g \cdot \rho / 3600$$

- g : La gravité terrestre [9.81m/s²]
- ρ : Densité de l'eau [1000kg/m³]

V-5 Calcul de l'énergie électrique quotidienne requise

L'énergie nécessaire pour soulever une certaine quantité d'eau sur une certaine hauteur donnée pendant une journée est calculée à partir de l'équation suivante :

$$E_e = \frac{E_h}{\eta_{MP} \times \eta_{Ond}} \quad (4)$$

Où :

- E_e : Energie électrique exprimé en [kwh/j]
- η_{MP} : Le rendement du groupe motopompe, en général entre 30% et 60%.
- η_{Ond} : Le rendement d'onduleur.

VI. Taille du générateur PV

Deux méthodes sont utilisées pour le dimensionnement de systèmes de pompage photovoltaïque : une méthode analytique et une méthode graphique. Ces méthodes permettent de dimensionner une installation de pompage photovoltaïque pour satisfaire les besoins en eau d'une consommation bien déterminée. (Dans ce travail nous utilisons la méthode analytique).

Méthode analytique :

Une fois connus le volume journalier Q [m³/jour], la hauteur manométrique totale H_{MT} et l'irradiation moyenne journalière incidente sur le plan du générateur, la puissance nominale correspondante du générateur photovoltaïque P_c est calculée par l'expression suivante [10] :

$$P_c = \eta_g \cdot A \cdot G \quad (5)$$

Avec :

- P_c : La puissance de sortie du générateur (w) sous CSM (puissance crête).
- η_g : Le rendement du générateur à la température de référence (25°C).
- A : La surface active du générateur (m²).
- G : L'éclairement dans les conditions CSM.

L'énergie électrique journalière est donnée par l'équation :

$$E_e = \eta_{PV} \cdot A \cdot G_d(\beta) \quad (6)$$

Où :

η_{PV} : Le rendement moyen journalier du générateur dans les conditions d'exploitation

$G_d(\beta)$: L'irradiation moyenne journalière incidente sur le plan des modules à l'inclinaison β .

Le rendement η_{PV} est calculé par la formule suivante :

$$\eta_{PV} = F_m [1 - \gamma(T - T_r)] \eta_g \quad (7)$$

Où :

F_m : Facteur de couplage.

γ : Coefficient de température des cellules.

T : Température moyenne journalière des cellules.

Calcul de la puissance, en watts crêtes, que doit avoir le champ.

En substituant les équations (5), (6) et (7) dans (4), nous obtenons la puissance crête du générateur :

$$P_c = \frac{G}{F_m [1 - \gamma(T - T_r)] G_d(\beta)} \cdot \frac{E_h}{\eta_{MP} \eta_{Ond}} \quad (8)$$

Où η_{MP} , η_{Ond} , sont respectivement, les rendements du groupe motopompe, de l'onduleur et F_m le facteur de couplage.

Après le calcul de la puissance du générateur PV, on détermine le nombre de modules constituant le générateur suivant la puissance du module PV choisie.

VI-1 Nombres de modules

Le nombre total de modules (N_M) constituant le générateur PV est calculé par la formule suivante :

$$N_M = \frac{P_c}{P_M} \quad (9)$$

Avec :

P_c : La puissance crête du générateur.

P_M : La puissance du module PV.

VI-2 Nombre de modules en parallèle

La mise en parallèle de modules donne l'intensité nécessaire à la charge. Le nombre de branches est calculé par l'équation suivante :

$$N_{MP} = \frac{N_M}{N_{MS}} \quad (10)$$

Correction de la puissance crête :

Dans la plus part des cas, les nombres de modules (en séries et/ou en parallèles) calculés ne sont pas des entiers ; il faut donc les arrondir pour trouver la nouvelle puissance corrigée.

Le schéma ci-dessous explique les démarches à suivre pour la détermination de la taille du générateur PV.

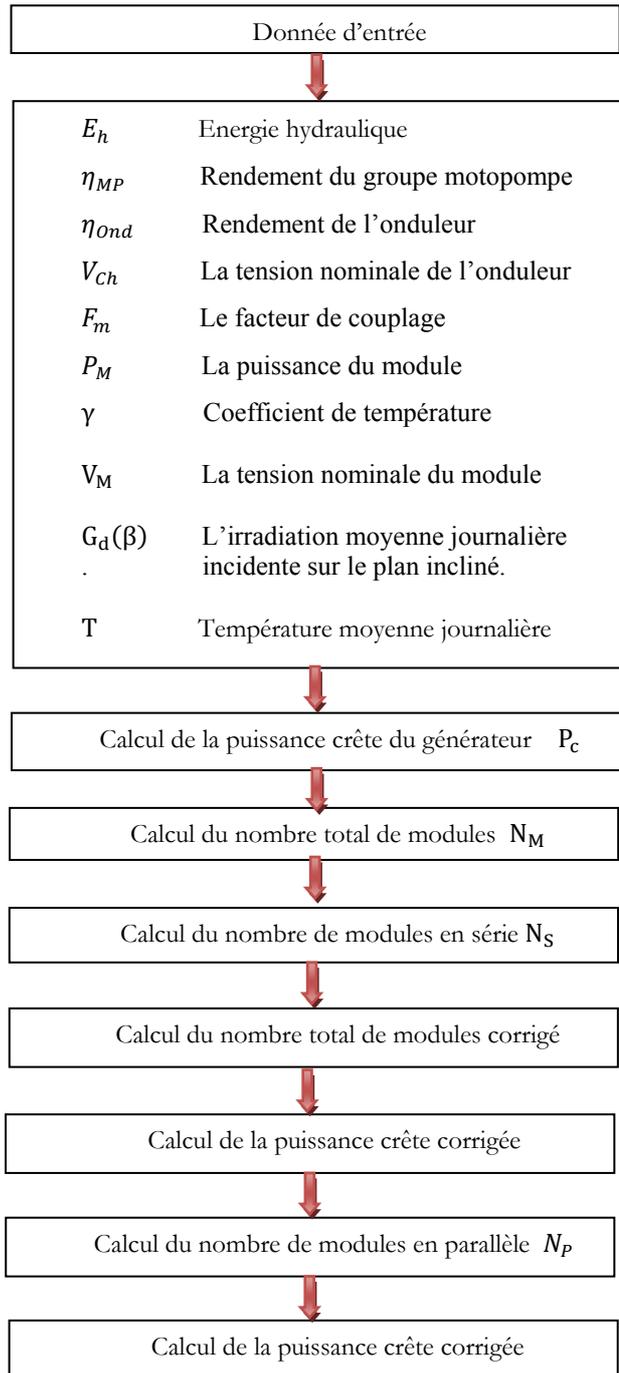


Fig. 3. Les étapes du calcul de la taille du générateur.

REFERENCES

Caractéristiques du site		Caractéristiques du Module	
Lieu du projet	Ouargla	Puissance nominale (W)	150
Latitude du lieu °N	31	Tension nominale (V)	34,5
Rayonnement solaire (W/m ²)	6700	Rendement du module	11,12
Température Moyenne (°C)	34	Température nominale (°C)	35
		Coefficient de température	0,005
Taille du Générateur			
Energie électrique (Wh/j)	15215	Nombres de modules	18
Tension de sortie (V)	240	Modules en série	7
Puissance crête (W)	2642	Modules en parallèle	3
Surface du générateur (m ²)	24	Nombres de modules corrigée	21
Puissance du module (W)	150	Puissance crête corrigée (W)	3150

Fig. 4. Page du calcul de la taille du générateur

Comme nous pouvons constater à partir de la figure 4, en se basant sur la connaissance des conditions spécifiques du site (système de pompage), de l'énergie consommée et des caractéristiques des modules PV choisis, nous calculons la taille du générateur photovoltaïque destiné à l'irrigation de la surface concernée (un hectare du palmier à Ouargla pour notre exemple).

N.B. : Pour effectuer ce calcul, nous avons utilisé Microsoft Excel. Nous aurons pu aussi utiliser des logiciels conçus spécialement pour ce besoin [11].

VII. Conclusion

Dans cette communication, nous avons présenté les résultats d'une étude qui a conduit au dimensionnement d'une installation de pompage photovoltaïque pour irriguer un hectare de palmiers située sur la vallée de Ouargla. Nous avons présenté les différents éléments de ce système photovoltaïque qui sont : un générateur photovoltaïque, une électropompe et un onduleur. Selon l'étude, le générateur photovoltaïque adéquat est constitué de 21 modules photovoltaïques en silicium poly cristallin d'une puissance crête de 150 W_C chacun. Ainsi, la puissance crête du générateur PV est de 3150 W_C.

Il est cependant important de signaler que, souvent, le calcul de la taille du générateur comporte un certain degré d'incertitude. Cette incertitude est principalement due à deux raisons essentielles : la première est liée au caractère aléatoire du rayonnement solaire qui est souvent peu connu. La deuxième est liée à l'estimation difficile des besoins d'eau demandés. Il est ainsi conseillé de prendre des précautions quant au choix du type de pompe et de la taille du générateur.

- [1] A. Moumi, N. Hamani, N. Moumi et A. Z. Mokhtari, « Estimation du rayonnement solaire par deux approches semi empiriques dans le site de Biskra », Centre Universitaire de Bécharr-Algérie, 11 et 12 Novembre 2006.
- [2] M. Capderou, « Atlas solaire de l'Algérie », Office des publications universitaires Tome 1' Tome 2, Algérie 1986.
- [3] S. Beringer, H. Schilke, I. Lohse, G. Seckmeyer, Case study showing that the tilt angle of photovoltaic plants is nearly irrelevant, Solar Energy 2011; 85: 470–476.
- [4] A. DJAFOUR, « Etude d'une station de pompage photovoltaïque dans une région saharienne », Thèse de magistère, université de Ouargla, 2000.
- [5] B. Azoui et M. Djarallah, « Dimensionnement et expérimentation d'un système photovoltaïque de pompage d'eau utilisant un moteur à aimants permanents sans balais collecteur », Journée d'Etude sur l'Energie Solaire, Mardi 01 mars 2005, Bejaia.
- [6] A. Hadj Arab, M. Benghanem et A. Gharbi, « Dimensionnement de Systèmes de Pompage Photovoltaïque », Rev. Energ. Ren. Vol. 8 (2005) 19 – 26.
- [7] www.panellipumps.it
- [8] www.grundfos.com
- [9] J.Royer, T. Djako, « Le pompage photovoltaïque », Manuel de cours à l'intention des ingénieurs et des techniciens, Université d'Ottawa.
- [10] K. Kaldellis, E. Meidanis, D. Zafirakis, Experimental energy analysis of a stand-alone photovoltaic-based water pumping installation, Applied Energy 2011; 88: 4556–4562.
- [11] Retscreen international-“Centre d'aide à la décision sur les énergies propres” www.etscreen.net