

Etat des lieux d'une installation de pompage solaire

Hocine GUELLIL¹

¹ Laboratoire Energétique et Thermique Appliquée ETAP
Département de Génie mécanique, Faculté de Technologie. Université de Tlemcen.
BP 230 Tlemcen 13000 Algérie
* guellil10@yahoo.fr

Résumé – Dans la plupart des pays en voie de développement, l'électricité disponible dans le milieu rural a toujours été un enjeu socio-économique important. Cependant l'accès à l'électricité est devenu primordial pour un développement équilibré et constitue un facteur important de l'exode rural.

C'est donc un défi de mettre d'une part à la disposition des populations rurale et désertique une source d'énergie capable de stimuler l'activité économique et de conduire des améliorations dans leurs besoins quotidiens. Ainsi, il est temps de semer la culture des énergies renouvelables dans notre pays.

Le travail est réalisé (à la station de : Algérienne des Energies Renouvelables située à Chlef). Il consiste à dimensionner un système de pompage photovoltaïque sur le site en utilisant deux méthodes : une analytique et l'autre graphique lissée par la méthode numérique des moindres carrés. Ces méthodes permettent de dimensionner une installation de pompage photovoltaïque pour satisfaire les besoins en eau par une consommation bien déterminée, en utilisant le logiciel COMPASS Lorentz.

Mots Clés : pompage solaire ; panneaux photovoltaïques ; pompes centrifuges.

Nomenclature

HMT	Hauteur manométrique totale, m	J_l	Pertes de charge linéaire, m
H_g	Hauteur géométrique, m	JS	Pertes de charge singulière, m
g	accélération de la pesanteur, $m.s^{-2}$	<i>Symboles grecs</i>	
P_{ch}	Pertes de charge, m	μ	Viscosité dynamique, $N.s/m^2$
V_m	vitesse moyenne, m/s	i	Coefficient de courbure, $W/m.^{\circ}C$
q_v	Débit expérimental, m^2/s		Densité de l'eau, Kg/m^3
Re	Nombre de Reynolds		

1. Introduction

L'énergie solaire est la plus dominante de toutes les énergies renouvelables et l'une des plus exploitables. Elle donne à l'utilisateur la possibilité de subvenir sans intermédiaire à une partie de ses besoins. Le flux solaire reçu sur la terre dépend de plusieurs facteurs : l'orientation et la nature de la surface terrestre, la latitude du milieu étudié, longitude, altitude, la période de l'année et l'instant considéré ainsi que le degré de pollution.

Dans ce travail, je me suis intéressé plus particulièrement à l'énergie solaire photovoltaïque comme application sur le pompage d'eau dans les sites isolés de la région de Chlef. Cette solution est particulièrement intéressante pour ce type de site, d'autant plus que pour le territoire Algérien qui dispose d'un gisement solaire le plus élevé au monde. La durée d'insolation peut atteindre les 3900 heures par an [1] sur le Sahara, l'énergie acquise quotidiennement sur une surface horizontale de $1m^2$ est de l'ordre de 5 Kwh, soit près de 2263 KWh/ m^2 /an au sud.

L'utilisation de l'énergie photovoltaïque pour le pompage de l'eau est bien adaptée pour la plus part des régions arides et semi-arides en raison de l'existence dans ces régions d'un potentiel hydraulique souterrain peu profond [2].

La connaissance du gisement solaire d'une région s'effectue [3] :

- Selon la densité des stations pour lesquelles on a des données.
- Selon le nombre d'années de mesures disponibles.
- Selon le pas de temps des données (mois, jour, heure).
- Selon la nature des données : durée d'ensoleillement, composante directe et diffuse et globale du rayonnement solaire, albédo du sol etc....

A cet effet, la mesure du rayonnement solaire en Algérie est peu dense relativement à la superficie du territoire. En effet, seules [4] sept stations météorologiques sur la soixantaine que compte le réseau de l'office national de la météorologie assurent la mesure des composantes diffuse et globale du rayonnement solaire reçu sur le plan horizontal. Pour pallier aux insuffisances des réseaux de mesures, des modèles sont proposés, ils sont basés essentiellement sur l'utilisation des données météorologiques en particulier la durée d'insolation.

Dans ce travail, se fait le dimensionnement d'un système de pompage PV fonctionnant par la méthode dite « au fil de soleil » à la wilaya de Chlef située au nord-ouest du pays et qui est caractérisée par une énergie d'ensoleillement plus de 3,2 KWh/m²/jour et des ressources importante d'eau souterraine [3]. Le stockage d'eau est réalisé par le biais d'un réservoir à fin de satisfaire les besoins en eau d'une consommation bien déterminée.

2. Localisation géographique

Les coordonnées géographiques de la station sont : Une latitude « ϕ » : 36.2 °N et une longitude « L » de : 1.4 °E, Altitude : 153 m. Cette wilaya (Chlef) est caractérisée par un climat méditerranéen subhumide dans la partie Nord et un climat continental au Sud, froid en hiver et chaud en été. Les caractéristiques de cette wilaya sont représentées par les graphes suivants :

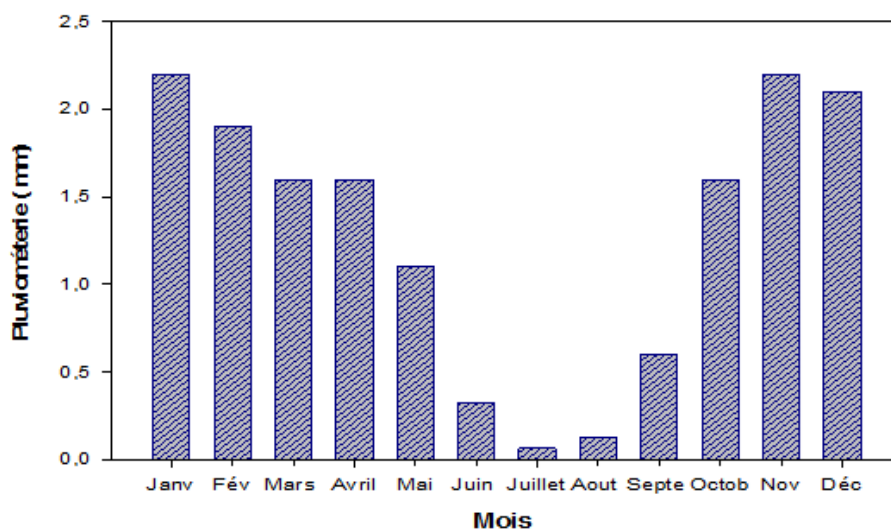


Figure 1 : Répartition mensuelle des pluies à Chlef

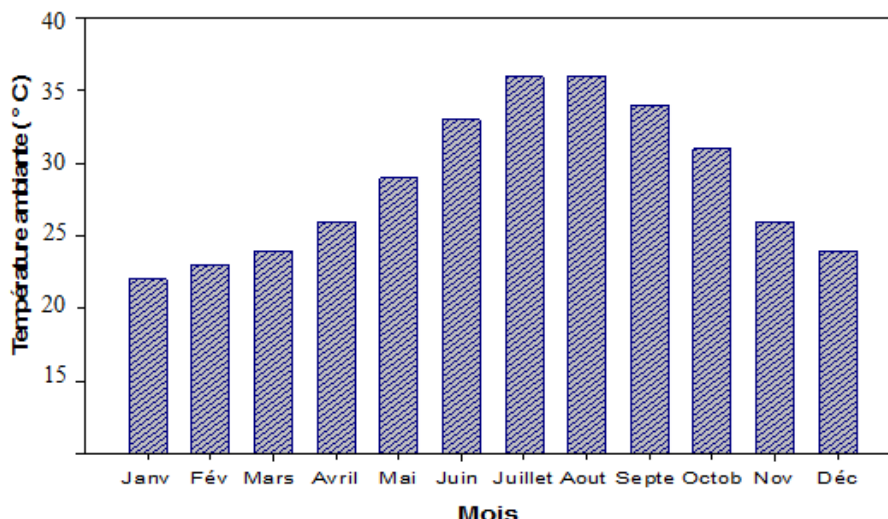


Figure 2 : Température moyenne mensuelle à Chlef

3. Avantages et inconvénients d'une installation PV :

Avantages :

- Une installation de haute fiabilité ne comporte pas de pièces mobiles particulièrement appropriée aux régions isolées. C'est la raison de son utilisation sur les engins spatiaux.
- Un coût de fonctionnement très faible vu les entretiens réduits et ne nécessite ni combustible, ni transport, ni un personnel hautement spécialisé.
- Cette technologie est de haute qualité sur le plan écologique car le produit fini est non polluant, silencieux et n'entraîne aucune perturbation du milieu.

Inconvénients :

- Une haute technologie et requiert des investissements d'un coût élevé.
- Le rendement réel de conversion d'un module est faible, de l'ordre de 10-15 %
- Les générateurs photovoltaïques ne sont pas compétitifs par rapport aux générateurs diesel que pour des faibles demandes d'énergie en régions isolées.
- Tributaire des conditions météorologiques.
- Le stockage de l'énergie électrique pose encore de nombreux problèmes.

4. Hauteur manométrique

$$HMT = H_g + P_{ch} \quad (1)$$

4.1 Données de calcul :

- l'installation comporte une canalisation de 18 m devisé en 3 parties.
- son diamètre est de 40 mm fabriqué en PVC ($K = 0.0015 \text{mm}$).
- existence de 3 coudes de 90°
- Débit Expérimental $q_V = 7.26 \text{ m}^3/\text{h}$; $\rho = 1000 \text{Kg}/\text{m}^3$; $\mu = 0.001 \text{ N.s}/\text{m}^2$

4.2 Calcul de pertes de charge du réseau de l'installation de pompage PV

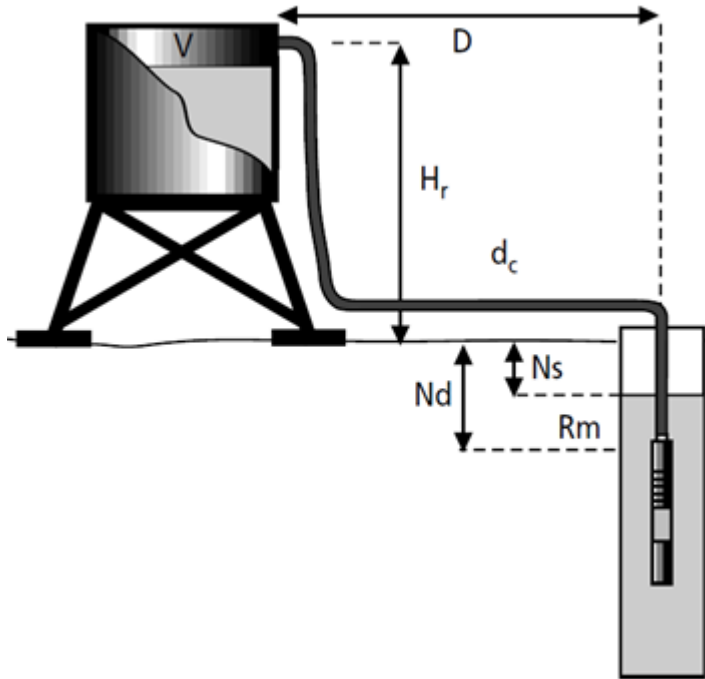


Figure 3 : Données de base d'une pompe centrifuge

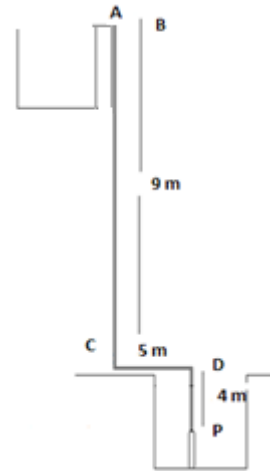


Figure 4 : Schéma représentatif de l'installation

Exemple de calcul du premier tronçon (PD au niveau de refoulement) d'une longueur de 4m, un diamètre constant de 40mm.

$$q_v = V_m \cdot S \rightarrow V_m = \frac{q_v}{S} = \frac{4 \times 0.00202}{\pi \times (0.04)^2} \rightarrow V_m = 1.608 \text{ m/s} \quad (2)$$

$$Re = \frac{\rho \cdot V_m \cdot D}{\mu} = \frac{1000 \cdot 1.608 \cdot 0.04}{0.001} = 6.43 \cdot 10^4 \quad (\text{Régime turbulent}) \quad (3)$$

En utilisant le diagramme de Moddy pour $Re = 6,43 \cdot 10^4$ et $k/D = 0,000375$

On obtient : $\lambda = 0.02$ d'où la perte de charge linéaire sur (PD) :

$$J_{L_1} = \lambda \frac{V_{m1} L_1}{2g D_1} \rightarrow J_{L_1} = 0.02 \frac{1.608^2 \cdot 4}{2.9.81 \cdot 0.04} \rightarrow J_{L_1} = 0.263 \text{ m} \quad (4)$$

De la même manière on procède aux autres tronçons (DC) et (CB). Par contre dans la partie (PD), il y'a pas de singularité d'où : $J_{(s+L)_1} = 0.268 \text{ m}$

Autre exemple de calcul des pertes de charge singulières pour le troisième tronçon (CB) qui possède un coude de 90° d'où :

$$J_{s_3} = \varepsilon \frac{v^2}{2g} = 1.5 \frac{1.608^2}{2.9.81} = 0.198 \text{ m} \quad (5)$$

et $J_{(s+L)_3} = 0.198 + 0.593 = 0.791 \text{ m} \quad (6)$

Pour tracer la courbe caractéristique du réseau, il nous faut déterminer le coefficient de courbure θ_i qui est en fonction de $J_{(s+L)_i}$ et de q_v^2 . Notre canalisation est devisée en 3 parties, je représente le calcul du premier coefficient de courbure, puis le même calcul s'effectuera pour les autres sans les représenter.

$$J_{(s+L)_1} = \theta_1 \cdot q_v^2 \rightarrow \theta_1 = \frac{J_{(s+L)_1}}{q_v^2} = \frac{0.268}{0.00202^2} = 65679.8 \quad (7)$$

Tableau 1 : Pertes de charge dans la 1^{ère} partie

q_v (m ³ /h)	5	5.64	6.13	6.61	7.42	7.822	8.064
H ₁ (m)	0.21	0.26	0.31	0.36	0.46	0.51	0.54

Tableau 2 : Pertes de charge dans la 2^{ème} partie

q_v (m ³ /h)	5	5.64	6.13	6.61	7.42	7.82 2	8.06 4
H ₂ (m)	0.34	0.43	0.51	0.60	0.75	0.84	0.89

Tableau 3 : Pertes de charge dans la 3^{ème} partie

q_v (m ³ /h)	5	5.64	6.13	6.61	7.42	7.822	8.064
H ₃ (m)	0.37	0.48	0.56	0.65	0.82	0.91	0.97

Les trois courbes confondues sont représentées sur le graphe suivant :

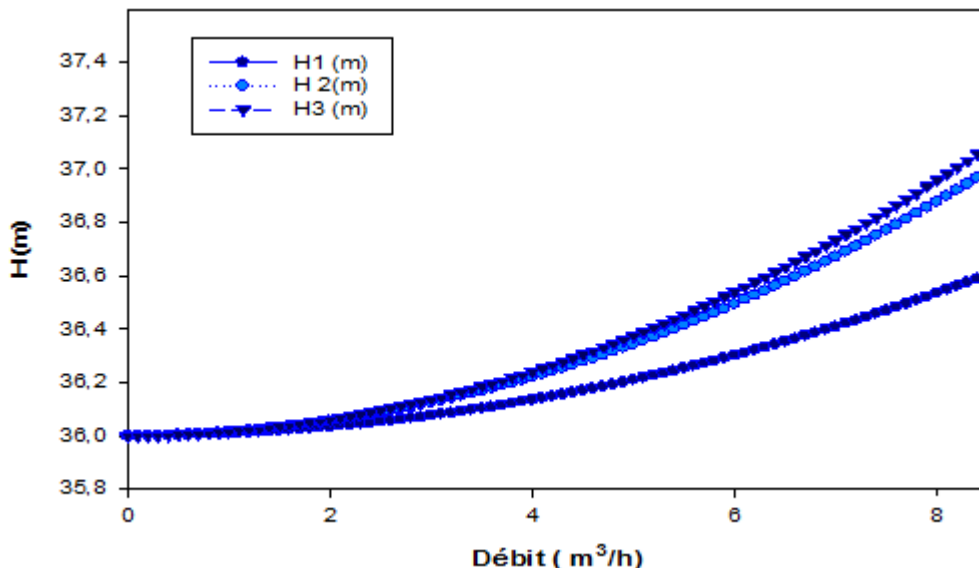


Figure 5 : Courbes de H₁, H₂, H₃ en fonction du débit

D'après les courbes tracées, les pertes de charge sont proportionnelles au carré du débit. On constate aussi que les pertes de charge réparties dans une canalisation sont proportionnelles à la longueur de la conduite et à la vitesse du fluide (le débit).

5. Estimation des besoins en eau [5]

Les besoins en eau pour l'alimentation d'une ferme et l'irrigation des activités agricoles, dépendent du type de culture et de la méthode d'irrigation et dépendent aussi de la quantité d'eau dont on a besoin, aussi des facteurs météorologiques (Température, vitesse du vent, l'évaporation du sol et la saison de l'année). Les besoins d'eau pour la région de Chlef sont donnés par le tableau suivant :

Tableau 4 : Les besoins journaliers moyens mensuels en eau

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	Sept	Oct	Nov	Déc
Volume (m^3/j)	43	47	52	54	54	54	53	52	50	47	41	39

D'après le tableau 4, les mois d'Avril, Mai et Juin ont la plus grande consommation.

6. Rayonnement solaire [6]

L'histogramme précédent donne les valeurs du 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 Chlef. Les mois d'Avril Mai et Juin ont la plus grande valeur de rayonnement incident qui est proportionnelle au débit requis.

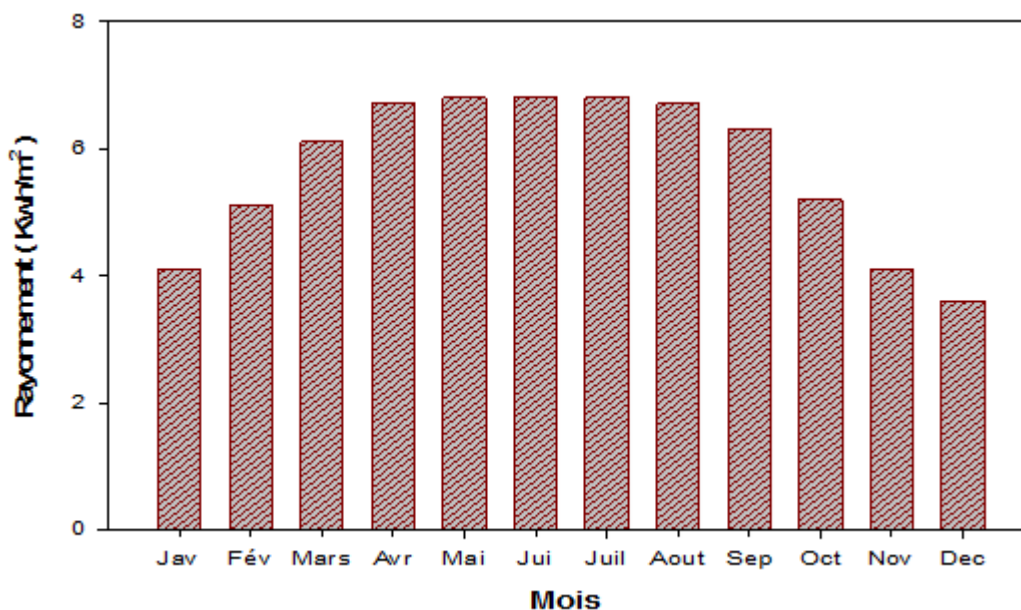


Figure 6 : Valeurs globales de l'irradiation pour une inclinaison optimale

7. Dimensionnement de l'installation 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. Il correspond aux conditions suivantes :

- Choisir les besoins journaliers en eau durant la période de besoin maximal de $45m^3/j$.
- Choisir le mois où l'ensoleillement maximal est le plus faible (mois de décembre).

8. Calcul de l'énergie électrique quotidienne requise

Ce calcul est fonction d'une constante hydraulique (C_H) et est inversement proportionnel au rendement du groupe motopompe utilisé. L'énergie requise pour la pompe

$$E_{elec} = \frac{\text{Constante hydraulique} \times \text{Le débit journalier} \times \text{HMT}}{\text{Rendement du groupe motopompe}} = \frac{C_H \cdot Q \text{ (m}^3/\text{j)} \cdot \text{HMT (m)}}{R_p} \quad (8)$$

$$C_H = g \cdot \vartheta = \frac{9,81 \text{ (m.s}^{-2}) \cdot 10^3 \text{ (kg/m}^3)}{3600 \text{ (s/h)}} = 2,725 \text{ kg.s.h/m}^2 \quad (9)$$

$$\text{D'où } E_{elec} = \frac{2,725 \cdot 45 \cdot 40}{0,46} = 10663,04 \text{ Wh/jour} \quad (10)$$

$$\text{L'énergie hydraulique requise } E_h = C_h \cdot Q \cdot \text{HMT} = 4905 \text{ KWh/jour} \quad (11)$$

C_h : Constante hydraulique

Q : Volume d'eau désiré par jour égal à 45 m³/jour

La motopompe utilisée est une pompe immergée proposée par le constructeur LORENTZ. Ce choix dépend du débit horaire désiré pour la pompe. Il est calculé par la formule suivante :

$$Q_h = \frac{Q}{h} = 7,26 \text{ m}^3/\text{heure} \quad (12)$$

Avec h : le nombre d'heures d'ensoleillement maximal égale à 6,2 heures

La caractéristique débit-hauteur d'une pompe qui est une courbe décrivant le fonctionnement de la pompe dans des conditions de fonctionnement données. Elle montre le débit disponible en fonction de la HMT à laquelle fonctionne la pompe.

Tableau 5 : Variation du débit en fonction de la HMT

HMT (m)	40	45	50	55	60	65	70
Q (m ³ /h)	8,064	7,822	7,42	6,61	6,13	5,64	5

Les courbes réseaux tracées nous ramènent au graphe final qui représente le point de fonctionnement ($Q_v = 7,16 \text{ m}^3/\text{h}$ et $H = 38\text{m}$)

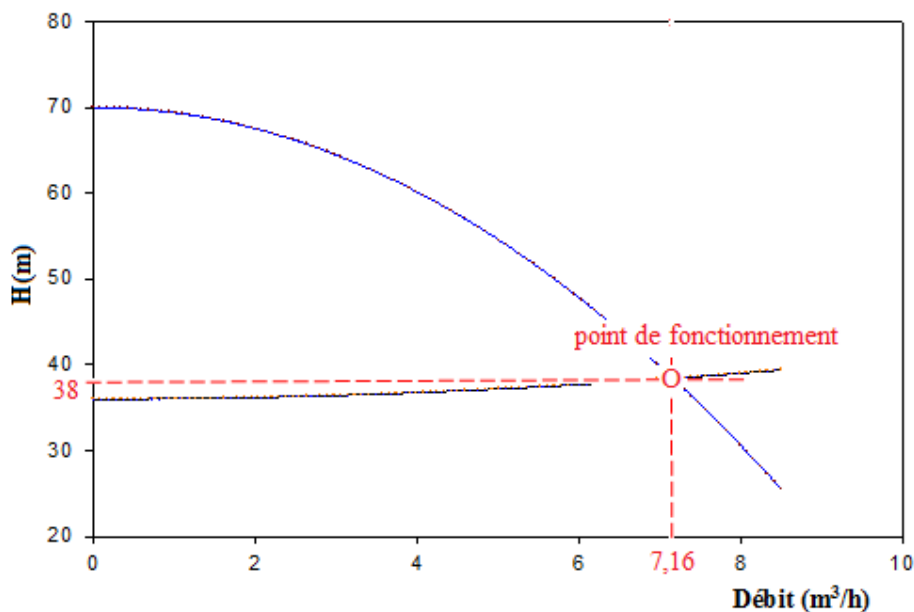


Figure 7: Point de fonctionnement de la pompe

9. Résultats des calculs et comparaison des graphes

La méthode des moindres carrés (programmée sous Matlab), est utilisée pour interpoler les graphes et trouver quelle est la meilleure fonction mathématique qui représente les données des calculs. Elle ne passe pas exactement par les points, mais elle s'en approche. Les données ainsi relevées permettent de tracer les courbes caractéristiques. D'où, les résultats suivants :

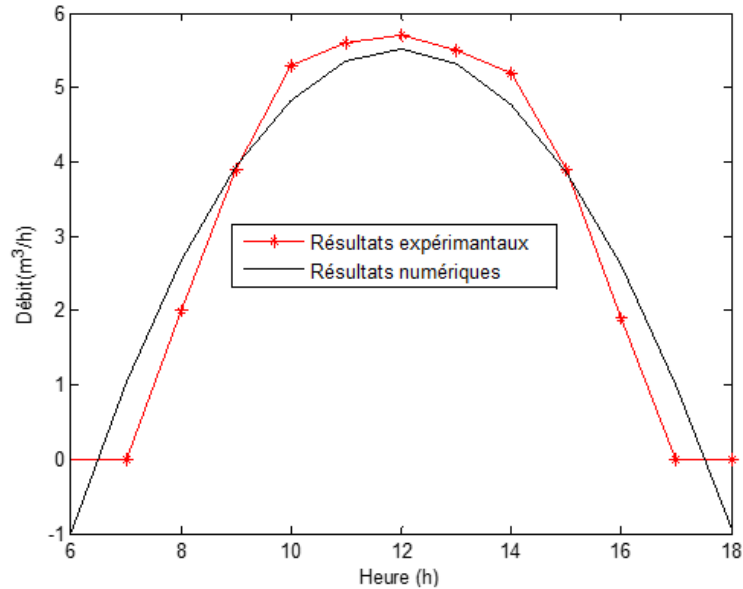


Figure 8: Variation du débit dans la journée

La figure 8 montre que le débit d'eau requis par jour, dépend essentiellement de l'ensoleillement reçu pour atteindre son maximum au midi solaire.

La figure 9 suivante, montre que la variation de la hauteur manométrique totale a une influence très importante sur le débit délivré par la pompe. Le débit est plus important quand la HMT est faible à 20 m. Exemple, le débit de 7,6 m³/h atteint 6,9 m³/h à 30 m, par contre, le débit de 3,9 m³/h atteint 70 m. Donc la variation de HMT développée par la pompe diminue généralement en fonction du débit pompé.

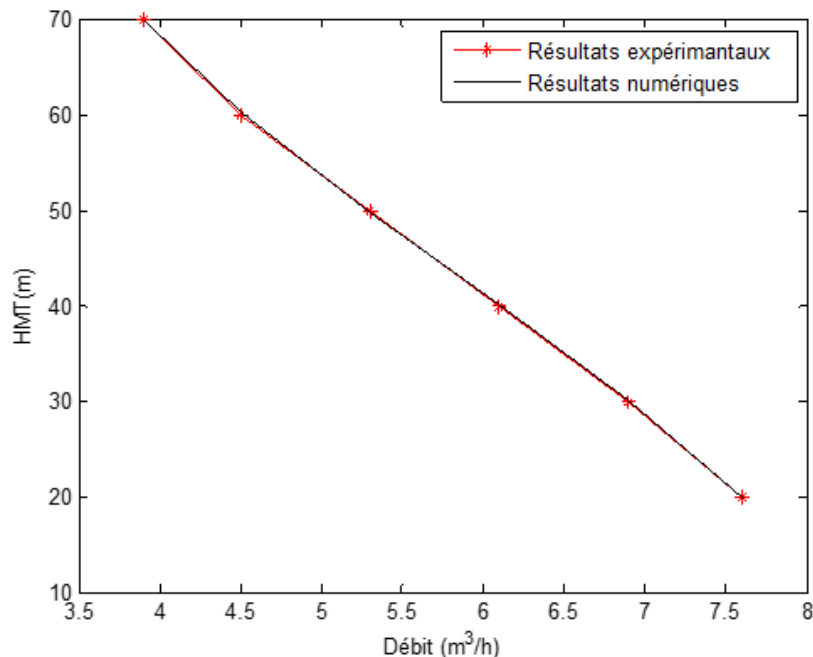


Figure 9: Courbe de la HMT en fonction du débit

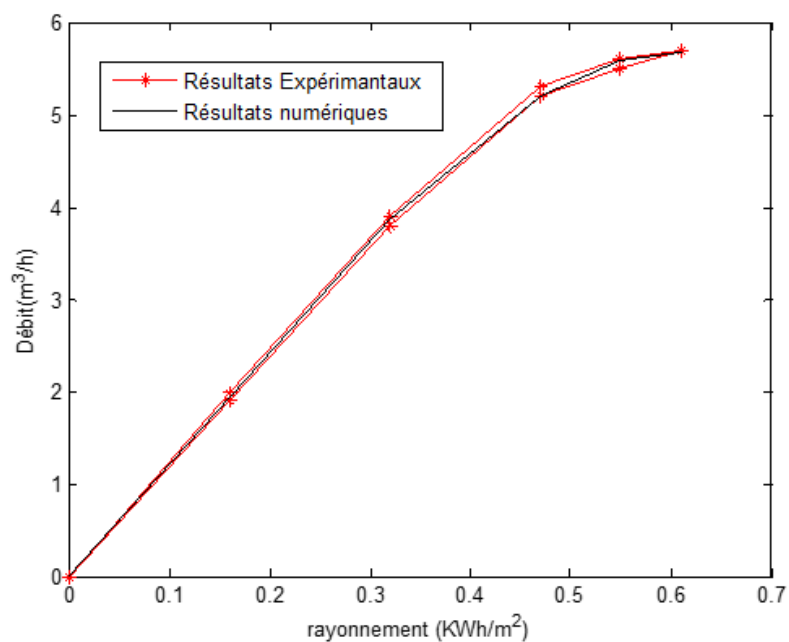


Figure 10 : Courbe du débit en fonction du rayonnement

Le graphe de la figure 10 représente la variation du débit en fonction du rayonnement. Le débit requis atteint sa valeur maximale pour un rayonnement de 0.6 KWh /m² au midi solaire et s'annule au début et à la fin de la journée à cause du faible rayonnement.

La figure 11 montre bien quand l'énergie reçue est nulle, le débit est nul aussi. Ce débit augmente avec l'énergie pour atteindre une valeur maximale au midi solaire et diminue ensuite quand l'énergie s'affaiblit le soir.

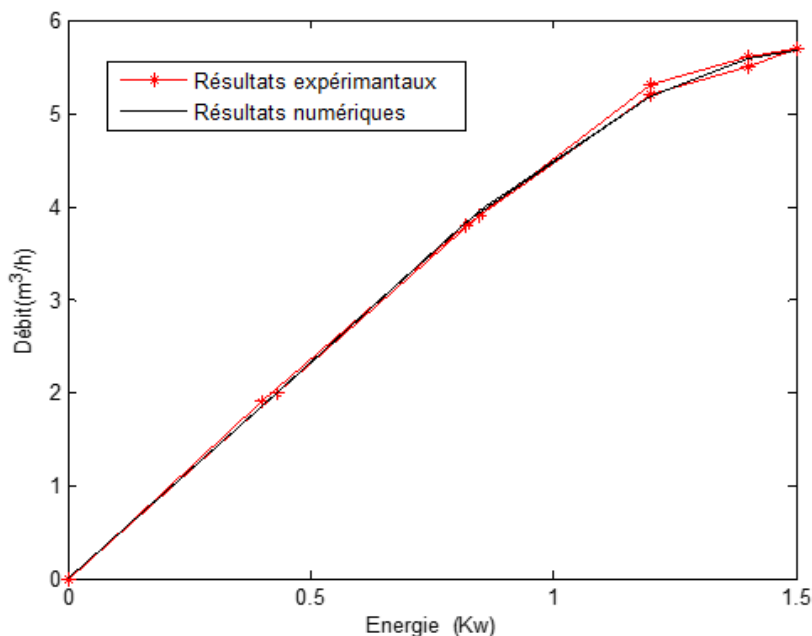


Figure 11: Courbe du débit en fonction de l'énergie reçue

La figure 12 montre que la puissance absorbée par la pompe est plus importante lorsque la pompe est installée à une hauteur dépassant les 70 m pour une puissance de 2 KW. Tant que la HMT augmente la puissance augmente aussi. En conclusion, la variation de la puissance est proportionnelle avec la HMT.

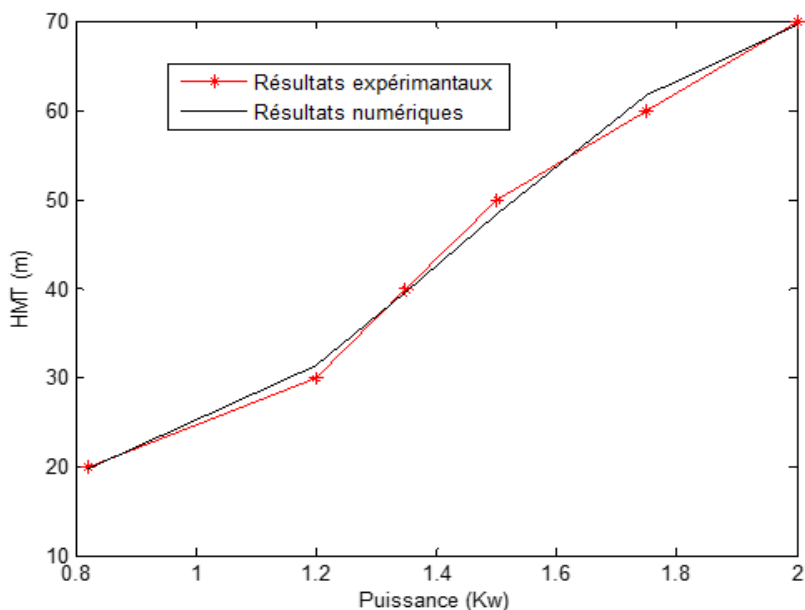


Figure 12: Courbe de la HMT en fonction de la puissance de la pompe

La figure 13 montre que tant que le débit augmente la puissance de la pompe diminue. Contrairement à la HMT, le débit varie inversement avec la puissance absorbée par la pompe.

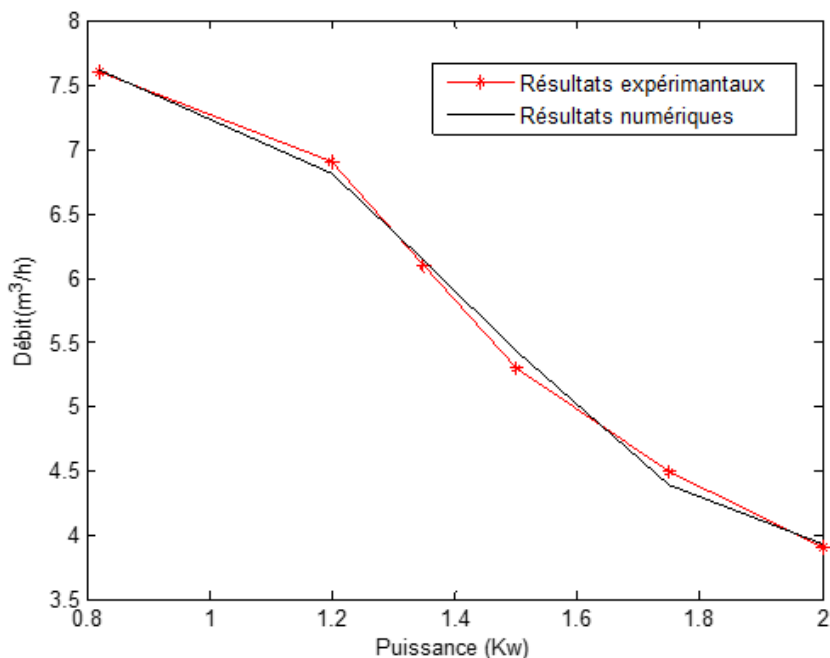


Figure 13: Courbe du débit en fonction de la puissance de la pompe

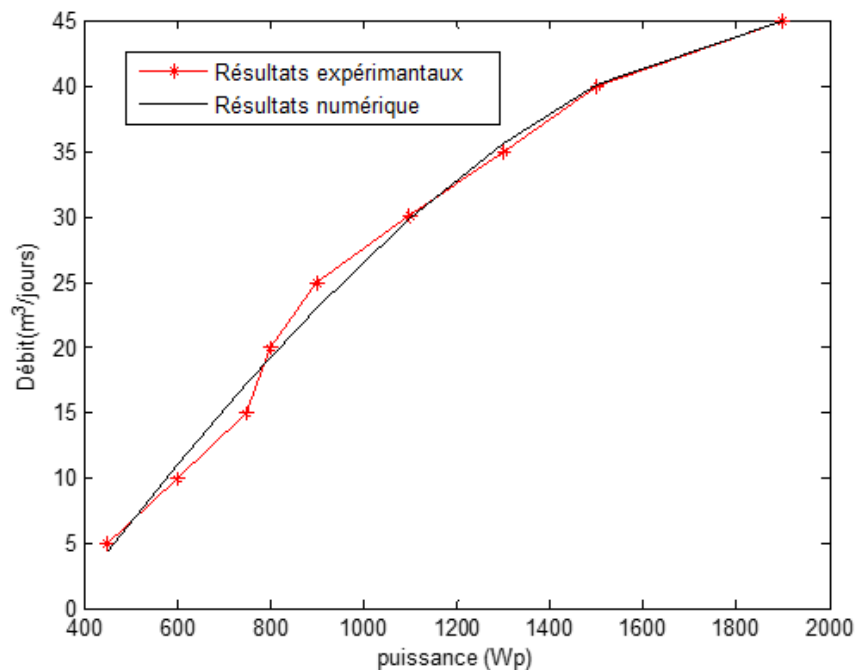


Figure 14 : Courbe du débit en fonction de la puissance du panneau

Le graphe de la figure 14 montre que la variation du débit est proportionnelle à la puissance des panneaux. Pour le cas étudié, le débit de 45 m^3 consomme une puissance de 1870 Wp.

10. Conclusion :

Par ce dimensionnement, les résultats relevés sur site et ceux calculés numériquement s'approchent de ceux du constructeur. Par exemple, dans la taille du générateur, le calcul 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. Pour la pompe, il n'y a pas eu la même puissance absorbée puisque la puissance du moteur nécessaire pour entraîner la partie hydraulique est toujours supérieure à la puissance absorbée par l'arbre compte tenu des pertes diverses dues à la transmission, d'erreurs de calcul des pertes de charge produites au niveau de la pompe (qui sont non pris en considération) et du couple de démarrage.

De ce travail, lors de la conception d'un système de pompage par énergie solaire photovoltaïque, trois conditions doivent soigneusement étudiées :

1. L'amélioration de la captation d'ensoleillement par les panneaux solaires afin de récupérer le maximum d'énergie possible.
2. L'exploitation maximale de l'énergie captée afin de tirer le maximum de puissance électrique disponible au niveau du générateur photovoltaïque
3. Cette condition concerne le dimensionnement optimal du système de pompage.

Références

1. Y. Bakelli, Contribution à l'optimisation du dimensionnement d'un système de pompage photovoltaïque autonome. Thèse de doctorat en science, université de Batna, 2012.

2. M. L. Louazene, Etude technico-économique d'un système de pompage photovoltaïque sur le site d'Ourgla, 2008.
3. I. Mokkadem, dimensionnement et réalisation d'un projet de pompage photovoltaïque destiné aux habitats isolés. Mémoire de magister, université de Hassiba Ben Bouali, Chlef.
4. N. Benbouza, Etude de rayonnement solaire dans la région de Batna. Mémoire de magister en électrotechnique, université de Biskra, 2008.
5. A. Bouzid, M. Azizi, Dimensionnement d'un système photovoltaïque pour l'alimentation d'une ferme, étude de l'onduleur triphasé lié à cette application. Mémoire d'ingénieur, USTO, 2008.
6. M. Dietschy, Les cellules photovoltaïques, Classes préparatoires CPE, institution des Chartreux, 2004-2005.