

Etude technico-économique d'un système de pompage photovoltaïque appliquée à un site saharien

B. Chikh-Bled, B. Benyoucef, F. Benyarou et I. Sari-Ali

Laboratoire de Matériaux et Energies Renouvelables (LMER), Faculté des Sciences,
Université Abou-Bakr Belkaïd, B.P 119, 13000 Tlemcen E. mail : bachikhbled@yahoo.fr

Résumé – *La situation géographique de l'Algérie favorise le développement et l'épanouissement de l'utilisation de l'énergie solaire. En effet vu l'importance de l'intensité du rayonnement reçu ainsi que la durée de l'ensoleillement qui dépasse les dix heures par jour pendant plusieurs mois, notre pays peut couvrir certains de ses besoins en énergie solaire, ces avantages pourraient être profitables dans les régions les plus reculées surtout dans les applications du pompage photovoltaïque. Il est clair que l'analyse économique des solutions photovoltaïques prend de plus en plus d'importance, elle est indispensable pour prendre des décisions d'investissement en toute connaissance de cause pour pouvoir quantifier la rentabilité de l'électricité photovoltaïque.*

L'objectif de notre étude consiste à évaluer les coûts représentatifs d'un système de pompage photovoltaïque installé dans la région d'Adrar, cette étude aboutira à une estimation du coût du mètre cube d'eau pompée par notre système de pompage photovoltaïque.

Abstract – *Because of the geographic position of Algeria, solar energy use will develop. Hence, the large solar radiation received and the average sunny day which is more than ten hours will permit to our country to use solar energy on a large scale. These advantages will profit to country side specially for photovoltaic pumping. One of the most important thing when considering a photovoltaic solution is the cost study, which is necessary to investment decision making and photovoltaic electricity quantification.*

In this paper, we aim to determine the cost of a photovoltaic pumping system in Adrar region. This study will lead to cost estimation of pumped water (in m³) on our photovoltaic system.

Mots clés : Pompage photovoltaïque – Systèmes photovoltaïques – Evaluation des coûts.

1. INTRODUCTION

Dans le cas de la mise en œuvre d'un projet photovoltaïque, proprement dit la réalisation d'une centrale électro-solaire destinée principalement à l'alimentation énergétique d'un site isolé, une estimation économique succincte peut être alors menée, après avoir préalablement effectué l'étude de faisabilité et de viabilité d'un tel ensemble adapté aux zones rurales. Afin de valoriser nos résultats issus de l'étude effectuée au site d'Adrar, il est indispensable de connaître certains coûts représentatifs de notre installation photovoltaïque, une étude technico-économique succincte relative à notre système de pompage est effectuée ; la première partie de cette étude est consacrée à l'évaluation des équipements composant le système de pompage, dans la deuxième partie nous avons évalué le coût relatif à l'environnement de l'installation et la dernière partie de cette étude économique aboutira à une estimation du coût de mètre cube d'eau pompée par notre système de pompage photovoltaïque [1]. L'application de cette analyse économique nécessite la connaissance des caractéristiques du site et de la consommation d'utilisation qui est une pompe centrifuge.

2. CARACTERISTIQUES DU SITE

Les caractéristiques du site d'Adrar sont données par les grandeurs météorologiques suivantes :

- Latitude : 27° 59' N
- Longitude : 0° 17' w
- Albédo : 0,35

3. CARACTERISTIQUES DE LA CHARGE

L'analyse économique est appliquée à chacune des trois types de pompes centrifuges de puissances différentes :

- ◆ Pompe P₁ : 750 w et de débit nominal 2 m³ / h
- ◆ Pompe P₂ : 1100 w et de débit nominal 5 m³ / h
- ◆ Pompe P₃ : 1500 w et de débit nominal 7 m³ / h

La durée de fonctionnement de chaque pompe est en moyenne 4 heures par jour, la consommation de chacune varie d'un mois à un autre selon les besoins, les moyennes mensuelles de la consommation sont représentées par le tableau suivant :

Tableau 1: Moyennes mensuelles de la consommation pour les 3 types de pompes

Mois	P ₁ (Kwh)	P ₂ (Kwh)	P ₃ (Kwh)
Janvier	2,5	4	4
Février	2,6	3,8	4,2
Mars	2,8	3,6	4,5
Avril	2,7	3,4	4,4
Mai	2,75	3,5	4,45
Juin	2,8	3,7	4,52
Juillet	2,8	4,1	5
Août	3	4,3	5,95
Septembre	2,9	3,9	5,6
Octobre	2,85	3,8	5,5
Novembre	2,8	3,75	4,8
Décembre	2,2	3,7	4,2

4. COUT DE L'INSTALLATION PHOTOVOLTAÏQUE

Les principaux coûts financiers en investissement qui sont liés à la réalisation et à l'installation d'une centrale photovoltaïque peuvent être décomposés selon certaines rubriques à savoir :

- Coût relatif aux études de conception.
- Coût relatif aux équipements et matériels solaires (modules photovoltaïques, régulateur de charge et de décharge, onduleur, éléments de batterie, diverses fournitures,...).
- Coût de l'installation du système sur site.
- Coût des travaux de génie civil.
- Installation et mise en fonctionnement de la centrale.

A cet effet, le coût global de l'installation d'un système photovoltaïque de puissance peut être exprimé par la relation suivante [2] :

$$CT = Aa + bC \quad (1)$$

L'expression qui relie la puissance du champ photovoltaïque au coût total de l'installation et à la capacité de stockage est donnée par l'équation suivante :

$$PC = \frac{CT - bC}{a} \quad (2)$$

5. ESTIMATION DU COUT GLOBAL DES COMPOSANTS DU SYSTEME

5.1. Actualisation du coût du système de stockage

La valeur actuelle du système de stockage d'une installation photovoltaïque est donnée par l'expression suivante [3] :

$$CS = bCB \left[1 + \sum_{i=1}^{Nrb} \left(\frac{1+e}{1+d} \right)^i L \right] \quad (3)$$

5.2. Estimation du coût global des équipements solaires

Pour mener à bien cette étude financière, les principales rubriques y afférents pour la fourniture, la réalisation et l'installation d'un système photovoltaïque adapté pour un site précis sont mentionnés sur le tableau suivant sur lequel sont présentés les coûts estimatifs en pourcentage respectifs à ces rubriques :

Tableau 2: Coûts estimatifs en pourcentage des équipements solaires

Equipements solaires	Coût estimatif du montant total (%)		
	1 ^{er} profil	2 ^{ème} profil	3 ^{ème} profil
Générateur PV	42,48	38,18	35,91
Convertisseur	8,85	7,95	7,48
Régulateur	10,32	9,28	8,72
Système de stockage	23,58	31,19	34,41
Electro-pompe	2,95	3,31	3,49
Fournitures diverses	11,80	10,60	9,97

5.3. Equipements et matériels solaires

Les équipements solaires sont les principaux composants du système photovoltaïque étudié : c'est à dire les modules photovoltaïques, les éléments d'accumulateurs électrochimiques, le système de régulation et de contrôle, les onduleurs, l'électro-pompe et les diverses fournitures indispensables au montage et à l'installation de cette dernière (structures, câbles, boîtiers et d'autres accessoires, ...). Il est à souligner que la plupart de ces équipements peuvent être soit acquis de l'extérieur impliquant ainsi une augmentation notable du coût total de l'installation, soit fabriqués localement en Algérie.

5.4. Etude technique et réalisation

Cette rubrique est relative à l'étude de conception du système photovoltaïque à mettre en place sur site. C'est à partir des conceptions énergétiques demandées (détermination du profil de consommation) et de la ressource énergétique disponible sur ce site, suivies préalablement de visites effectuées que cette étude est précisément entamée. A cet effet, les frais octroyés à cette rubrique sont estimés à 3 % du coût global pour les différents profils de consommations.

5.4.1. Travaux de génie civil

Par ailleurs il est indispensable, dans le cadre d'une telle réalisation de prévoir un poste spécifique qui regroupe l'ensemble des frais afférents aux divers travaux de génie civil devant être effectués sur site lors de l'installation photovoltaïque. Le montant octroyé à ce poste est estimé à environ 30 % du coût global de l'installation, mais il faudrait noter que ces différents coûts sont à la charge de l'utilisateur potentiel [4].

5.4.2. Installation

Dans le cadre de l'installation sur site, une équipe de techniciens (installateurs) spécialistes est directement mise en place. Le poste relatif au montage, à l'installation et à la mise en service du système photovoltaïque peut être évalué à 8 % du coût global de l'installation, il représente l'ensemble des frais occasionnés à la réalisation et à l'installation de la centrale sur le site prévu [4].

6. SIMULATION DU COUT DE L'INSTALLATION PV

6.1. Caractéristiques des composants du système

Les données nécessaires du système pour optimiser la surface du champ photovoltaïque, la capacité de stockage et le coût de l'installation PV sont [3] :

Le calcul du coût de l'installation de pompage photovoltaïque a été simulé en langage MATLAB (Version 5.3). Cette simulation appliquée aux 3 profils de consommation d'utilisation nous a permis de déterminer le coût de l'installation photovoltaïque et de la capacité de stockage relatives au site d'Adrar, les données nécessaires pour cette simulation sont :

- Les données du site.
- Les données des composants du système.
- La demande moyenne mensuelle d'utilisation.

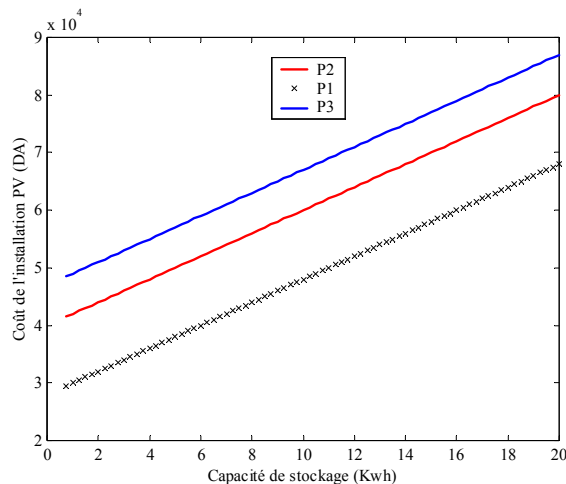


Figure. 1: Variation du coût en fonction de la capacité de stockage pour les 3 profils de consommation

A l'analyse des résultats de simulation obtenus, on constate que le profil de consommation P_1 offre un avantage économique de l'ordre de 32 % sur le profil de consommation P_2 , de 42 % sur le profil de consommation P_3 et de 14 % entre les deux profils P_2 et P_3 , et ceci se traduit par la puissance de consommation utilisée.

La figure ci-dessus nous illustre la variation du coût global de l'installation photovoltaïque en fonction de la capacité de stockage pour les trois profils de consommation, on constate que ce coût augmente proportionnellement avec la capacité de stockage pour chaque profil de consommation.

7. COUT ESTIMATIF DU METRE CUBE D'EAU

Pour une estimation du coût relatif du mètre cube d'eau pompée par notre système photovoltaïque pour chaque profil de consommation, il a été pris en considération l'ensemble des rubriques citées précédemment, cependant nous considérons certaines hypothèses très optimistes concernant les équipements solaires dans cette analyse comme la durée de vie du générateur photovoltaïque, de l'onduleur, du régulateur, de l'électro-pompe et du système de stockage. Le coût global actualisé est fonction de cette durée de vie relative aux composants du système et du coût de fonctionnement pendant toute la durée d'utilisation du système et ceci pour chaque profil de consommation.

Vu les caractéristiques des trois pompes centrifuges utilisées pour les trois profils de consommations et leur durée de fonctionnement (4 heures par jour) ; et sachant que toute l'eau productible est utilisée, la quantité journalière moyenne d'eau pompée et le coût estimatif du mètre cube d'eau sont représentés par le tableau suivant :

Tableau 3: Coûts estimatifs d'eau pompée pour différents profils de consommation

Profils de consommation	Débit journalier (m ³)	Débit annuel (m ³)	Coût du m ³ (DA)
1 ^{er} profil P ₁	8	2920	24,13
2 ^{ème} profil P ₂	20	7300	11
3 ^{ème} profil P ₃	28	10220	8,36

8. INTERPRETATION DES RESULTATS

Nous constatons à l'analyse de ces résultats économiques que le 3^{ème} profil de consommation correspondant à la 3^{ème} pompe centrifuge est intéressant du point de vue coût du mètre cube d'eau et se situe aux environs de 8 DA. Il est à souligner que ce coût peut varier dans de très larges proportions en fonction de l'année, il dépend en outre de plusieurs paramètres importants :

- ◆ Le changement de certains composants du système fait varier également le coût du mètre cube d'eau.
- ◆ La durée de fonctionnement de la pompe ; en effet ce coût réel du mètre cube d'eau correspond à 4 heures de fonctionnement par jour, donc il est plus intéressant de faire fonctionner la pompe pendant toute la journée afin de minimiser le coût annuel du mètre cube d'eau pompée.
- ◆ Les visites pour le suivi de cette installation photovoltaïque peuvent être très fréquentes et les frais de maintenance et d'entretien sont très élevés et par conséquent ils peuvent faire augmenter le coût réel du mètre cube d'eau.

9. CONCLUSION

Compte tenu du fait qu'il est très difficile de prévoir le temps qu'il fera dans les années à venir, il apparaît qu'il sera très difficile pour le concepteur de trouver une taille du système capable de garantir réellement l'autonomie du système en utilisant les critères classiques d'optimisation technico-économiques [1]. Les applications à grande échelle de cette source d'énergie c'est à dire les centrales électro-solaires sont susceptibles de devenir rentables dans un avenir relativement proche dès lors qu'une politique d'investissement en ce domaine sera suivie et qu'une comptabilisation rigoureuse des coûts externes des divers technologies énergétiques sera menée. Dans ce chapitre on a présenté une analyse économique du système de pompage photovoltaïque en tenant compte du coût relatif des composants du système, cette étude a enfin aboutit à une estimation du coût du mètre cube d'eau pompée par notre installation.

NOMENCLATURE

- A : La surface du champ photovoltaïque (m²).
- C : La capacité de la batterie de stockage (kwh).
- b : Le coût du kwh de stockage (b=1200 DA/Kwh).
- Nrb : Le nombre de remplacements des batteries durant les N années.
- e : Le taux d'inflation des batteries au Plomb (e=15 %)
- d : Le taux d'escompte (d=10 %).
- L : La durée de vie de la batterie de stockage (L=5 ans).
- N : La durée de vie d'une installation photovoltaïque (N=20 ans).
- C_B : La capacité de la batterie de stockage (kwh).
- η_{ph} : Le rendement du champ photovoltaïque (η_{ph}=10 %)

η_B : Le rendement de la batterie ($\eta_B=85\%$)
 η_o : Le rendement de l'onduleur ($\eta_o=80\%$)
F : Le facteur d'auto-décharge de la batterie (F=3 %)
 N_a : Le nombre de jours d'autonomie de la batterie ($N_a=3$ jours)
 S_{ch} : La surface du champ photovoltaïque ($S_{ch}=15\text{ m}^2$)
a : Le prix du m^2 de champ photovoltaïque ($a=4000\text{ DA/m}^2$)

REFERENCES

- [1] Z. Benyahia, « *Etude technico-économique comparative entre centrale Diesel et centrale photovoltaïque* », Thèse de Magister, CDER (1990)
- [2] M. Chikh, « *Etude analytique conceptuelle des systèmes photovoltaïques de puissance adaptés aux sites isolés de l'Algérie* », Thèse de Magister, CDER (1994)
- [3] D. Mayer and S. Biscaglia, « *Modeling and analysis of lead acid battery operation* », Communication, Ecole des Mines de Paris, Centre d'Energétique Sophia Antipolis
- [4] S. Diaf, « *Expérimentation d'un système de pompage photovoltaïque sur site saharien* », Mémoire DPGS, CDER, (1992).