

Analyse Micro Economique des Systèmes Energétiques - Station de Pompage

B. Bouzidi et A. Malek

Laboratoire d'Energie Solaire Photovoltaïque, Centre de Développement des Energies Renouvelables
B.P. 62, Route de l'Observatoire, Bouzaréah, Alger, Algérie

Résumé – *Le choix d'un système énergétique doit respecter certaines règles. Le système énergétique proposé doit démontrer au préalable sa compétitivité vis-à-vis d'autres systèmes pour le même service rendu. Sa crédibilité doit reposer sur des bases économiques et techniques. Cette communication se propose d'analyser la faisabilité et la rentabilité économique d'une station de pompage alimentée par énergie solaire photovoltaïque, laquelle est comparée avec une autre installation présentant les mêmes caractéristiques et fonctionnant à l'aide d'un groupe électrogène. La méthode adoptée se base sur la détermination du coût global actualisé du mètre cube (m³) d'eau en fonction du débit journalier, de la hauteur manométrique totale (Hmt) et de l'ensoleillement du site d'installation. De cette analyse, découlera le choix sur l'investissement à considérer car, l'analyse des coûts et de la rentabilité est un préalable incontournable avant toute décision d'investissement de système ou d'équipement énergétique, que ce soit en énergie solaire photovoltaïque ou en énergie conventionnelle (diesel ou autres).*

Abstract – *The choice of an energy system must comply with certain rules. The energy system suggested must show as a preliminary its competitiveness with respect to other systems for the same rendered service. Its credibility must rest on economic and technical bases.*

This communication proposes to analyze the feasibility and the economic profitability of a station of pumping supplied with photovoltaic solar energy, which is compared with another installation showing the same characteristics and functioning using a power generating unit. The adopted method is based on the determination of the brought up to date total cost of the cubic meter (m³) of water according to the daily output, total total head (Hmt) and sunning of the site of installation. From this analysis, will rise the choice on the investment to consider because, the analysis of the costs and of profitability is a precondition impossible to circumvent before any decision of investment of system or energy equipment, that it is in photovoltaic solar energy or conventional energy (diesel or different).

Mots Clés: Système énergétique - Pompage - Choix de l'investissement - Rentabilité - Coût global actualisé - Photovoltaïque - Groupe diesel.

1. INTRODUCTION

Le développement rural est souvent freiné faute d'énergie. Les besoins énergétiques prévisibles peuvent être couverts en grande partie par les énergies renouvelables. Cependant la pénétration des énergies renouvelables dans le marché doit tenir compte de multiples contraintes, plus particulièrement économiques.

Le rôle du photovoltaïque dans les régions en voie de développement n'est pas seulement d'apporter une puissance énergétique, mais un développement social et économique des zones rurales.

Le nombre de kWh produits peut paraître insignifiant devant la capacité de production énergétique du pays, mais cette puissance aussi faible soit-elle, peut ranimer tout l'espoir d'une communauté. Les services qu'ils peuvent apporter (eau potable, irrigation, conservation de vaccins, communication, éclairage,...) ont un impact important sur le développement et la qualité de la vie. Aussi, le paramètre d'optimisation ne doit pas être le coût de production, mais plutôt celui du service rendu [1].

Le calcul des coûts de la production d'électricité par l'énergie solaire photovoltaïque obéit aux mêmes règles que les solutions classiques. Nous cernerons ainsi séparément les coûts d'investissement, les coûts d'exploitation et les coûts d'entretien et de maintenance [1, 2].

Ainsi et nous aurons l'occasion de le voir ci-après, la structure de coût du kWh produit par l'énergie solaire photovoltaïque présente une part importante pour les frais d'amortissement des investissements, une part nulle pour les frais de combustibles et une part très faible ou moyenne pour les frais d'exploitation et d'entretien – maintenance.

Cette structure est tout à fait différente de celle du kWh produit par des combustibles fossiles (tels que les groupes électrogènes au diesel) où les frais dus à l'amortissement de l'investissement sont faibles alors que les frais de combustible et d'exploitation et de maintenance sont prépondérants.

2. CONSIDERATIONS TECHNIQUES ET ECONOMIQUES

L'électrification de sites isolés dans les régions en développement constitue un marché potentiel pour les systèmes d'énergie photovoltaïque. Toutefois, si ces systèmes ont été largement étudiés et améliorés au cours

des deux dernières décennies, leur développement à une échelle significative ne sera possible que dans la mesure où l'on aura une idée claire du marché qui leur est ouvert en terme de compétitivité technico-économique.

La nécessité d'analyser la rentabilité économique présente et future de l'énergie photovoltaïque afin de juger si elle peut se développer à grande échelle. Or, la plupart des analystes classiques mettent en doute leur rentabilité économique, la mobilisation du capital nécessaire à l'investissement initial est présentée comme un obstacle rédhibitoire [1].

Aussi, l'utilisation des systèmes d'énergie photovoltaïque dans les sites isolés suppose une analyse préalable des conditions d'installation tant au point de vue technique que vis-à-vis de l'environnement.

3. CALCUL ECONOMIQUE ET MODALITES DE CHOIX DES INVESTISSEMENTS ENERGETIQUES

3.1. Coût des systèmes photovoltaïques

Le calcul du coût d'un système photovoltaïque requiert la connaissance des éléments suivants [1]:

- la durée de vie,
- l'investissement initial,
- les coûts de maintenance annuels relatifs au système photovoltaïque,
- les coûts de remplacements des différents sous systèmes,
- les profits réalisés.

L'investissement initial permet à l'utilisateur de savoir quel est le prix qu'il va devoir payer lors de l'installation de son système. Aussi, d'autres informations très importantes constituent des critères de choix, à savoir :

- Le coût du système photovoltaïque sur sa durée de vie,
- Le coût de l'énergie consommée par l'utilisateur sur toute sa durée.

Le coût du kWh consommé dépendra des profits engendrés mais également de l'énergie photovoltaïque consommée par l'utilisation.

3.1.1. Coût sur la durée de vie du système

Le coût sur la durée de vie du système est fonction de l'investissement initial, du coût annuel d'entretien et de maintenance et du coût de remplacement éventuel de certains sous-systèmes.

$$C_{\text{vie}} = I_0 + C_{\text{ent/main}} + C_{\text{rempl}} \quad (1)$$

3.1.2. Coût actualisé du système et coût du kWh consommé

Le calcul du coût de l'énergie prend en compte celui sur la durée de vie, ainsi que les profits réalisés sur toute la durée active du système.

$$C_{\text{actu}} = \frac{C_{\text{vie}}}{Fa} \quad (2)$$

$$Fa = \frac{1 - (1 + a)^{-n}}{a} \quad (3)$$

C_{actu} : Coût actualisé; Fa : Facteur d'actualisation; a : Taux d'actualisation; n : Durée de vie active du système.

Le coût actualisé du kilowattheure par rapport à la consommation est le suivant :

$$\text{Coût}_{\text{DA/kWh}} = \frac{C_{\text{vie}} - \text{Profits}}{\text{Consommation annuelle}} \quad (4)$$

3.2. Choix des investissements

L'investissement mobilise très souvent d'importants moyens financiers. Cette situation implique qu'un investissement ne peut se réaliser sans une étude préalable entraînant des hypothèses et des choix [3, 6].

3.2.1. Les conditions du choix

Le processus décisionnel en matière d'investissement comporte deux phases impératives :

- Evaluation du coût de l'investissement lui-même,
- Evaluation de l'exploitation sur la durée de vie du système.

La première phase consiste à évaluer le montant de l'investissement du système, mais également le besoin en fond de roulement d'exploitation. La deuxième phase consiste à simuler dans le temps, l'exploitation de l'investissement réalisé (chiffre d'affaire, charges,....).

3.2.2. Les méthodes financières du choix

Il existe plusieurs méthodes financières permettant le choix. Parmi elles, deux les plus couramment utilisées [5, 6]:

- Méthode de la valeur actuelle nette ou VAN,
- Méthode du taux de rentabilité interne ou TRI.

Valeur Actuelle Nette (VAN)

La valeur actuelle nette repose sur la comparaison entre le capital investi et la valeur actuelle des cash-flows dégagés par le projet. La détermination de la VAN d'un investissement appelle les étapes suivantes:

- Fixer le capital investi (I_0),
- Faire la somme des cash - flows actualisés nets

$$\sum_{j=1}^n \frac{R_j}{(1+a)^j} \quad (5)$$

avec R_j = recettes

- Fixer le taux d'actualisation (a)

$$VAN = -I_0 + \sum_{j=1}^n \frac{R_j}{(1+a)^j} \quad \text{où } j = 1, n \quad (6)$$

Taux Interne de Rentabilité (TIR)

Le taux interne de rentabilité est le taux d'actualisation qui annule le bénéfice net actualisé.

$$B = -I_0 + \sum_{j=1}^n \frac{R_j - D_j}{(1+a)^j} \quad (7)$$

B : Bénéfice actualisé, I_0 : Investissement initial à l'exercice (0), D_j : Dépenses

$$\text{Si } B = -I_0 + \sum_{j=1}^n \frac{R_j - D_j}{(1+a)^j} \quad I_0 = \sum_{j=1}^n \frac{R_j - D_j}{(1+a)^j} = R \left[\frac{1 - (1+a)^{-n}}{a} \right] \quad (8)$$

R : Recettes nettes

Comme $a = r$ (r étant le taux interne de rentabilité)

$$\frac{I_0}{R} = \frac{1 - (1+r)^{-n}}{r} \quad (9)$$

$$\text{si } n \rightarrow \infty \quad \frac{I_0}{R} = \frac{1}{r} \Rightarrow r = \frac{R}{I_0}$$

Si $a < r$, le bénéfice est positif, ce qui donne un investissement rentable

Si $a > r$, le bénéfice est négatif, ce qui donne un investissement non rentable.

4. LES SYSTEMES DE POMPAGE

La situation de l'économie des régions semi arides et arides est marquée par deux sortes de contraintes majeures qui interagissent mutuellement, d'une part, les difficiles conditions climatiques et d'autre part, l'archaïsme et la très faible efficacité des systèmes de production.

Tout développement durable de ces régions doit viser à sécuriser et à accroître la production primaire (agricole, pastorale), seule garante d'une autosuffisance vivrière. Aussi, la production primaire dépend elle-même étroitement de la maîtrise du facteur énergie [1].

La stratégie pour le développement agricole doit intégrer comme un de ses objectifs prioritaires, la maîtrise de l'eau, qui se confond pour l'essentiel avec la maîtrise de l'énergie de pompage. C'est pourquoi, il importe de trouver des sources et technologies performantes, fiables et économiques, pour répondre aux larges besoins

d'hydraulique agricole dans les régions rurales, et de satisfaire ainsi les besoins nutritionnels d'une population en régulière croissance [7].

Dans cette présente étude, deux moyens d'exhaure de l'eau seront étudiés et analysés. Le premier est basé sur un système d'énergie solaire photovoltaïque, le deuxième par contre est conventionnel et utilisé plus fréquemment dans les régions sahariennes (groupe électrogène).

4.1. Systèmes de pompage photovoltaïque

L'architecture d'un système de pompage est composée de (Fig. 1) :

- Générateur photovoltaïque,
- Armoire de commande et de contrôle,
- Groupe électropompe.

Les groupes motopompes utilisés sont du type au 'fil du soleil'. Le débit de la pompe varie proportionnellement à l'ensoleillement.

4.2. Analyse économique des systèmes de pompage photovoltaïque

Pour évaluer le coût global actualisé du m³ d'eau pompé, il est nécessaire d'avoir certaines données.

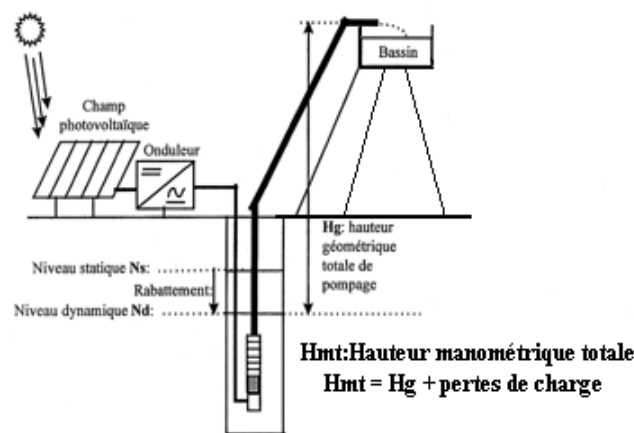


Fig. 1: Le système de pompage photovoltaïque

Les unes sont connues, les autres sont estimables [6].

- La durée de vie,
- Le coût ou l'investissement initial,
- Les coûts de maintenance annuels relatifs au système photovoltaïque,
- Les coûts de remplacements des différents sous-systèmes.

Les hypothèses retenues, relatives à la durée de vie pour chacun des éléments du système, sont données ci-après :

Equipements	Durée (an)
▪ Générateur photovoltaïque	15
▪ Motopompe	7
▪ Onduleur	5
▪ Puits	15
▪ Génie civil	15
▪ Divers accessoires	5

La poursuite de l'analyse nous conduit à déterminer de ces divers cas, un coût du m³ d'eau pompée. Deux hypothèses sont considérées :

- Toute l'eau productible est utilisée,
- Compte tenu des variations saisonnières dans la consommation de l'eau et du gaspillage, seul 70 % de l'eau productible sont réellement utilisés [2].

4.2.1. Le coût de l'entretien

Malgré la fiabilité des pompes solaires, il est indispensable de veiller à leur bon fonctionnement par un entretien périodique.

Le coût de l'entretien est très difficile à évaluer dans le temps, dans la mesure où les hypothèses de départ peuvent être différentes. L'approche la plus raisonnable est basée sur une expérience vécue sur le terrain pour en calculer un coût moyen annuel qui, tout théorique qu'il soit, donnerait un ordre de grandeur réaliste.

Les hypothèses retenues pour le calcul du coût moyen annuel de l'entretien sont les suivantes :

- Remplacement de composants: 05 %* tous les ans,
- Remplacement de modules: 10 % tous les 05 ans,
- Remplacement 'du motopompe: 100 % tous les 07 ans,
- Réparation de l'onduleur: 50 % tous les 05 ans,
- Entretien génie civil: 01 % tous les 05 ans.

* Ratio relatif à l'investissement de l'équipement considéré.

4.2.2. Le coût global actualisé du m³ d'eau

Nous avons considéré trois (03) systèmes de pompage à différents débits et un forage présentant la même hauteur manométrique et pour un ensoleillement de 6000 Wh/m²/j. Les données techniques sont les suivantes :

- Débit: 15 m³/j - 45 m³/j - 90 m³/j
- Hmt : 20 mètres.

4.2.2a Le coût global actualisé du m³ d'eau par les systèmes de pompage photovoltaïque

Analyse des trois cas - (505 Wc, 1514 Wc et 3000 Wc) [2]

Les pompes solaires de puissance 505 Wc, 1514 Wc et de 3000 Wc sont installées sur forage et possèdent des débits respectivement de 15 m³/j, 45 m³/j et 90 m³/j et dont la Hmt est de 20 m. L'ensoleillement est de 6000 Wh/m²/j, (Tableau 1).

Au vu de ces résultats, nous remarquons l'importance du coût en particulier pour les petites puissances. Ensuite le coût proportionnel du générateur solaire intervient et limite la rentabilité économiques des systèmes de pompage photovoltaïque (à partir de 3000 Wc) par rapport aux systèmes énergétiques.

4.2.2b Le coût global actualisé du m³ d'eau par pompage avec moteur diesel [2]

En milieu rural, les moyens de pompage les plus utilisés sont particulièrement

- Le puisage traditionnel,
- Le pompage avec moteur diesel.

Le système de pompage analysé se compose d'un groupe électrogène diesel et d'une électropompe immergée. Le nombre d'heure de fonctionnement du système permettra d'avoir les mêmes débits journaliers. (Tableau 2).

4.3. Comparaison des coûts

L'analyse des coûts des deux modes d'exhaure, les systèmes de pompage par énergie solaire photovoltaïque et par groupe électrogènes diesel nous conduit à l'examen des tableaux 1 et 2.

Il apparaît que le pompage par énergie solaire photovoltaïque présente un intérêt certain par rapport à d'autres moyens d'exhaure en particulier le pompage par groupe électrogène diesel le plus utilisé dans nos régions rurales et ce, dans la gamme des débits allant de 15 m³/j jusqu'à environ 80 m³/j, soit des puissances allant jusqu'à 3000 Wc. Ensuite l'effet de taille du générateur présentant plus de 50 % de l'investissement total, l'énergie solaire photovoltaïque perd son intérêt économique (Fig. 2) [1].

La figure 2 donne la zone estimative de l'utilisation des divers moyens de pompage, que ce soit le système traditionnel ou classique (1), le système solaire (2) et le système avec groupe électrogène (3).

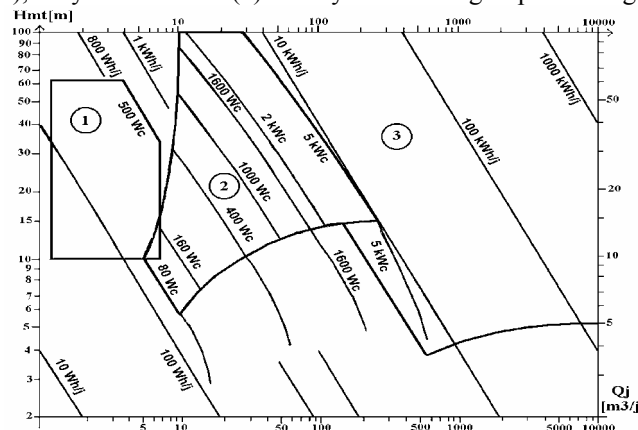


Fig. 2: Zone d'utilisation des moyens de pompage

5. CONCLUSION

De cette étude et analyse qui ne doivent pas se limiter à de simples calculs et qui serait appuyée par une série de tests sur bancs d'essai, chaque système ou moyen de pompage présente des avantages et des inconvénients à prendre en considération lors d'un éventuel investissement. D'autres part lors de notre analyse, nous avons fait des hypothèses relatives à certains paramètres pouvant varier dans différentes proportions :

- Prix variables en fonction de la qualité et quantité du matériel,
- Coûts des aménagements dépendant du type d'utilisation et des conditions locales,
- Choix du matériel conditionnant les performances,
- Prix du litre de gasoil et lubrifiant subventionnés d'une manière très importante par l'état.

Le pompage par énergie solaire photovoltaïque ne permet pas forcément d'adapter instantanément le débit en fonction des besoins qui varient suivant les saisons et qui peuvent évoluer dans le temps, présente en sa faveur les avantages suivants :

- Plus fiable que le diesel,
- Pas d'approvisionnement en carburant,
- Peu d'entretien régulier et obligatoire,
- Faible coût de fonctionnement, limité à l'entretien et la réparation.

Le pompage diesel quand à lui, permet d'adapter la production aux besoins. Cependant ses contraintes d'utilisation sont grandes, et en particulier :

- Un entretien périodique,
- L'approvisionnement en carburant,
- Le taux de panne plus élevé.

REFERENCES

- [1] B. Chabot, 'L'économie des énergies renouvelables dans les pays industrialisés et en développement', SEBES, 1998.
- [2] A. Malek, Document interne du Laboratoire Photovoltaïque, CDER.
- [3] P. Barbet, 'Economie de choix de projets d'investissement'.
- [4] A. Galesne, 'L'évaluation de la rentabilité des projets d'investissement' 1996.
- [5] B. Bouzidi & A. Malek, 'Contribution à la faisabilité d'une industrialisation des équipements solaires', 2001.
- [6] B. Bouzidi & A. Malek, 'Introduction aux critères micro économiques des systèmes photovoltaïques – Pompage', 2002.0