

# Etude de la Viabilité des Systèmes de Pompage d'Eau par les Energies Renouvelables dans les Régions Arides— Cas d'étude Photovoltaïque/Eolien

Bouzidi Belkacem<sup>1</sup>, Bendib Douadi<sup>2</sup>, Chikh Madjid

Unité de Développement des Equipements Solaires (UDES),  
Centre de Développement des Energies Renouvelables (CDER)  
Route nationale N°11, BP 386, Bou Ismail, Tipaza, Algérie

<sup>1</sup>bouzidi.belkacem@udes.dz

<sup>2</sup>bendib.douadi@gmail.com

**Abstract**— Les régions sahariennes occupant plus de 85 % de la superficie du pays sont confrontées toujours à la disponibilité de l'eau que ce soit de l'eau potable ou l'abreuvement du cheptel ou l'irrigation des parcelles agricoles. Paradoxalement, il existe une nappe d'eau souterraine très importante, qui s'étend des frontières tunisienne et libyenne au Sud ouest, en plus d'un potentiel solaire et un degré moindre éolien assez important. Dans ce contexte, nous proposons d'étudier et de comparer la viabilité de deux options de systèmes de pompage d'eau par les énergies renouvelables: photovoltaïque et éolienne, cela en tenant compte des aspects technique et économique. Il est devenu nécessaire que la question de l'énergie se pose en des termes nouveaux. En lieu et place des communes mesures pour toutes les formes d'énergie, on doit se demander, compte tenu des circonstances, quelle forme d'énergie conviendrait à qui et en vue de quelles fins, il s'agira essentiellement de développer un nouvel état d'esprit qui serait fondé sur la détermination, au cas par cas, de la ressource énergétique appropriée.

**Keywords**— Régions sahariennes, pompage d'eau, système PV, turbine éolienne, coût sur la durée de vie.

## I. INTRODUCTION

Dotée d'une superficie de 2 381 741 km<sup>2</sup>, l'Algérie est à la fois le plus grand pays d'Afrique, du monde arabe et du bassin méditerranéen. La partie saharienne qui couvre plus de 85 % de la superficie de l'Algérie soit environ 2 millions de km<sup>2</sup>, est constituée principalement de regs, d'ergs, d'oasis et de massif montagneux.

Les besoins énergétiques de l'Algérie sont satisfait, presque exclusivement, par les hydrocarbures, notamment le gaz naturel, énergie la plus disponible. Il n'est donc fait appel aux autres formes d'énergie que lorsque le gaz ne peut pas être utilisé. A long terme, la reconduction du modèle national de consommation énergétique actuel peut rendre

problématique l'équilibre offre-demande pour cette source d'énergie.

Cependant, et en raison de certaines commodités socio professionnelles, la plupart des habitants émigrent vers les grands centres urbains (grandes villes du nord et le chef-lieu de wilaya) causant ainsi une densité très faible de la population. Paradoxalement, ses régions du sud sont dotées d'une richesse naturelle jusque-là non encore exploitée à savoir l'ensoleillement qui avoisine 3 650 heures par année et la quantité d'eau disponible au niveau de la nappe phréatique. Cependant, la capacité d'accéder à cette eau constitue un problème majeur pour les habitants de ces régions.

Les perspectives de la sécurité alimentaire dans nombre de pays en développement suscitent de vives préoccupations. L'appauvrissement généralisé du couvert végétal et l'accélération de l'érosion réduisent la productivité des terres non irriguées. Les régions semi-arides, sujettes à des aléas climatiques et à de fréquentes sécheresses, sont particulièrement vulnérables.

Le problème de la sécurité alimentaire est exacerbé par la croissance rapide de la population et, partant, de la demande d'aliments [1].

Il est clair que l'irrigation peut et doit jouer un rôle important dans l'augmentation et la stabilisation de la production alimentaire, en particulier dans les régions les moins développées de l'Afrique, au sud du Sahara. Cependant, de nombreux obstacles freinent l'expansion de l'irrigation. Dans de vastes zones de cette région, les ressources en eau douce sont limitées. Dans d'autres, on ne connaît pas suffisamment les ressources potentielles pour faire des prévisions fiables. Même dans les endroits où l'on sait de façon certaine que les ressources hydriques sont substantielles, il arrive que d'autres conditions ne soient pas propices au développement de l'irrigation.

L'irrigation consiste à approvisionner les cultures en eau par des moyens artificiels, en vue de permettre l'agriculture dans les zones arides et de compenser les effets de la sécheresse dans les zones semi-arides.

Cependant et en l'absence des eaux de surface, les eaux souterraines localisées dans les couches aquifères (Figure 1) semblent être la seule alternative à ce dilemme, mais étant donnée leur profondeur, s'avèrent difficiles pour le pompage manuel et animal. Le pompage d'eau mécanisé devient la seule alternative fiable pour soulever l'eau à ces profondeurs. Le diesel a été traditionnellement utilisé pour pomper l'eau dans ces régions. Son fonctionnement nécessite un volume important de carburant lorsqu'il est disponible. Cependant, l'utilisation de ce type de système cause les rejets de gaz dans l'atmosphère accroissant le niveau de pollution et de nuisance pour l'environnement en plus de la pollution des eaux souterraines et au sol par le carburant et les lubrifiants.

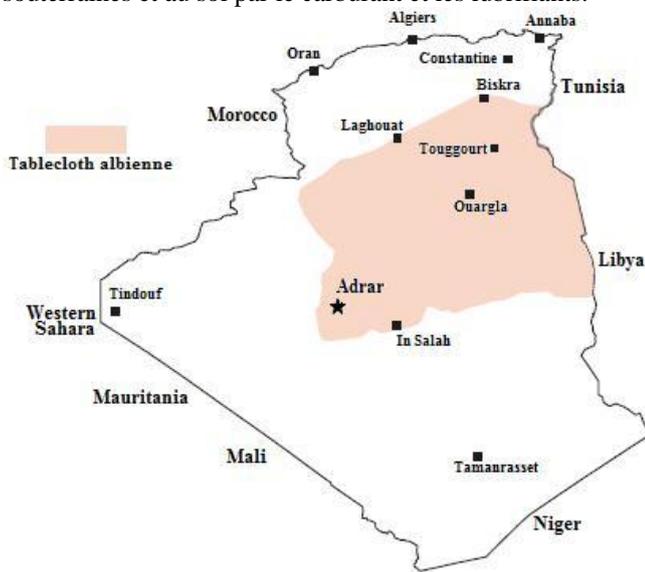


Fig.1 : La nappe phréatique couvre tout le Sahara centrale jusqu'en Lybie [2]

Par contre, les énergies renouvelables étant données leur potentiel énergétique, peuvent constituer des énergies de substitution tout à fait réalistes de par leur faible impact sur l'environnement. Parmi les différentes sources identifiables en Algérie, deux retiennent l'attention dans cette étude pour leur important potentiel dans les zones d'applications : il s'agit de l'énergie solaire et de l'énergie éolienne [3-5].

Par cet article, nous essayons de fournir la perspicacité dans l'accès à l'énergie par l'utilisation de la technologie des énergies renouvelables, énergie solaire photovoltaïque et énergie éolienne, et son importance dans le développement local. Dans ce contexte, beaucoup de communautés rurales et sahariennes isolées n'ont pas accès à l'électricité du réseau national, tandis que leurs besoins énergétiques ne cessent d'augmenter avec l'accroissement de la population. Ces besoins représentent un marché potentiel pour la technologie des énergies renouvelables. Ce nouvel enjeu restitue la

problématique des énergies renouvelables dans un contexte global d'amélioration à l'accès des populations vivants dans ces régions considérées pauvres, aux services énergétiques dans une optique de développement local réel.

## II. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

Située à 1 600 Km sud-ouest d'Alger (27°52' N, 0°17' W), Figure 1, Adrar occupe une superficie de 427 368 km<sup>2</sup>, une population de 422 331 hab. [6] et une très faible densité de la population estimée à 0.98 hab./km<sup>2</sup> [6]. Possède un climat désertique, avec un été torride très long (Mai – Octobre) et un hiver court tempéré chaud avec un gradient de température (entre la nuit et le jour) pouvant atteindre 25°C. La moyenne annuelle des précipitations atteint à peine 14 – 15 mm, tombant essentiellement en automne ou au printemps. Les températures moyennes maximales sont de 46 – 48°C particulièrement en juillet, avec un maximal de 50°C entre juin et septembre. De ce fait, Adrar est considéré comme l'une des régions les plus chaudes au monde. L'irradiation solaire est l'une des plus élevée au monde et la durée moyenne d'insolation dépasse 3 900 h/an. Le rapport entre la durée du jour et la durée d'ensoleillement annuelle dépasse 90%. L'agriculture constitue la base de l'économie de la région. La région d'Adrar dispose d'un gisement solaire et éolien très appréciable. L'exploitation de ces ressources énergétiques inépuisables peut satisfaire les besoins en énergie de la population.

### A. Potentiel énergétique solaire

L'Algérie dispose d'un potentiel solaire important et adéquat pour l'utilisation des systèmes d'énergie solaire, notamment dans les régions du sud. La figure 2 montre les irradiations moyennes journalières mensuelles d'Adrar. Nous remarquons que la moyenne journalière annuelle est supérieure à 5.7 kWh/m<sup>2</sup>/j. La période hivernale présente moins de potentiel solaire dont l'irradiation globale moyenne mensuelle journalière varie entre 3 kWh/m<sup>2</sup>/j et 4 kWh/m<sup>2</sup>/j. L'irradiation solaire devient très importante entre les mois de mars et octobre où l'irradiation globale moyenne mensuelle journalière varie de 5.5 kWh/m<sup>2</sup>/j à 7.5 kWh/m<sup>2</sup>/j [7].

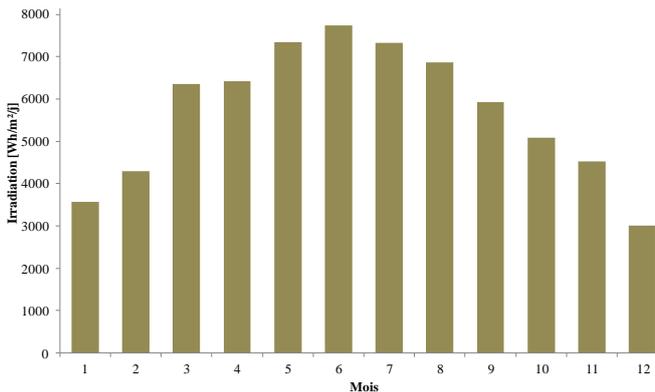


Fig. 2 : Irradiation moyenne journalière mensuelle

### B. Energie éolienne

Pour évaluer les performances de fonctionnement d'un aérogénérateur à un emplacement donné, sa production énergétique est d'abord exprimée en termes de vitesse de vent. Parmi les nombreux modèles mathématiques utilisés dans les études de puissance de vent, la distribution statistique cumulative de Weibull est la plus appropriée pour décrire les variations de la vitesse du vent. Elle est donnée par [8] :

$$f(v) = \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} \exp\left(-\left(\frac{v}{c}\right)^k\right) \quad (1)$$

Où  $f$  (est la probabilité pour que le vent souffle à la vitesse  $v$ ), le facteur de forme, sans dimension, qui caractérise la dissymétrie de la distribution,  $k$  est le facteur d'échelle. La figure 3 montre la distribution de la vitesse du vent du site Adrar. En étudiant la distribution de cette vitesse, nous pouvons remarquer que :

20.5 % des vitesses de vent sont inférieures ou égales à 4 m/s, 62.5 % des vitesses de vent sont comprises entre 5 à 9 m/s (représentant la vitesse adéquate pour les aérogénérateurs de faible puissance).

17 % des vitesses de vents supérieures à 10 m/s (vitesse nominale de la plupart des aérogénérateurs de moyenne puissance).

Au vu de ces relevés de mesure de la vitesse du vent, nous pouvons remarquer, que la région d'Adrar, pourrait constituer une région favorable à l'exploitation de l'énergie éolienne par les petits systèmes.

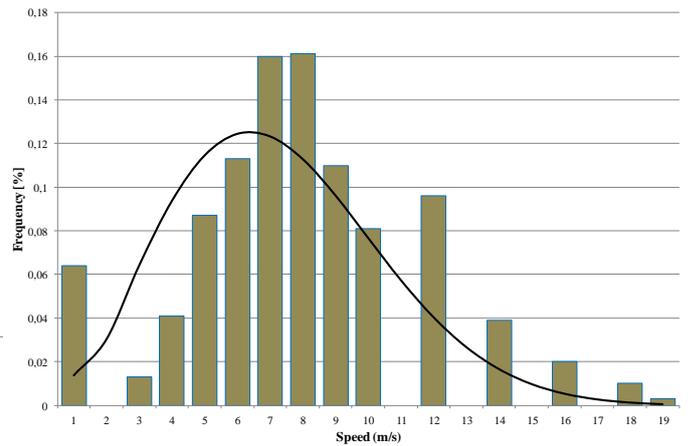


Fig. 3 : Distribution de la vitesse du vent du site d'Adrar

#### 1) Densité de puissance éolienne

En considérant que la densité de l'air est constante, la densité de puissance éolienne moyenne disponible est donnée par (Justus, 1978) [9-10]:

$$\overline{P_d} = \frac{1}{2} \times \rho_{air} \times \overline{v^3} \quad (2)$$

La moyenne du cube de la vitesse du vent représentant le moment d'ordre 3 de la distribution de la vitesse du vent, peut-être déterminée de deux méthodes.

Lorsqu'on dispose d'un échantillon de données de mesure, elle est donnée par [11] :

$$\overline{v^3} = \sum_{i=1}^N f_i \times v_i^3 \quad (3)$$

Où  $f_i$  représente la fréquence d'occurrence des vitesses appartenant au  $i$ ème intervalle de vitesse,  $N$  est le nombre d'intervalle de vitesse.

En utilisant les paramètres de Weibull  $k$  et  $c$ , la densité de puissance éolienne peut être exprimée comme suit

$$P = \frac{1}{2} \times \rho_{air} \times c^3 \times \Gamma\left(1 + \frac{3}{k}\right) \quad (4)$$

#### 2) Extrapolation verticale de la vitesse du vent

Les données vent disponibles sont des résultats de mesures effectuées à 10 m a.d.s (au-dessus du sol). Comme la vitesse du vent augmente avec l'altitude [12-13], une relation empirique est appliquée pour l'extrapolation de ces données à la hauteur du mouy. Sa forme de base est :

$$\frac{v}{v_r} = \left(\frac{z}{z_r}\right)^\alpha \quad (5)$$

Où  $v$  est la vitesse du vent à la hauteur  $z$  du moyeu (la hauteur du moyeu de la turbine a.d.s), m/s ;  $v_r$  est la vitesse du vent mesurée à la hauteur de référence  $z_r$  (10 m suivant la base des données) ;  $\alpha$  est l'exposant de la loi de puissance. La figure 4, montre la densité de puissance éolienne disponible sur le site d'Adrar. Nous remarquons une augmentation significative de la densité de puissance en fonction de la hauteur du moyeu. Sur le site d'Adrar, la densité augmente de 35 % à 20 m et de 90 % à 30 m.

Les figures 5 et 6, montre la variation de la vitesse du vent sur le site d'Adrar pour deux hauteurs différentes 20 m et 30 m par rapport à la hauteur de référence 10 m.

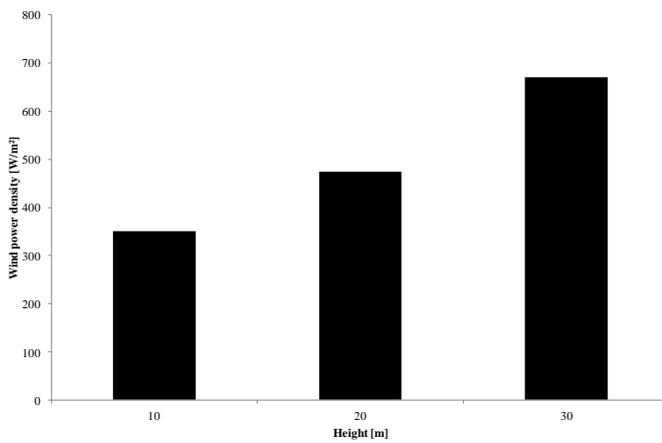


Fig. 4: Densité de puissance éolienne pour différentes hauteurs

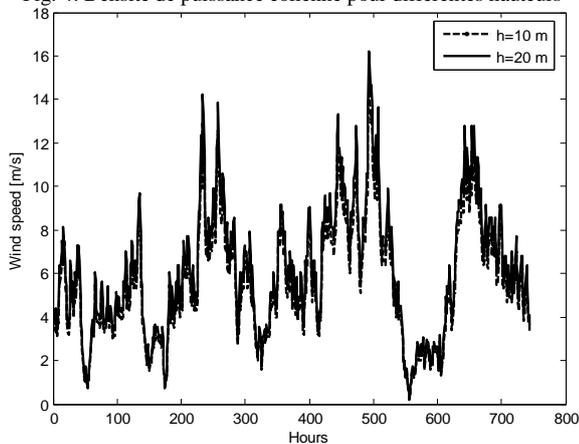


Fig. 5: Vitesse du vent à différentes hauteurs du mât : 10 m et 20 m - Adrar – Janvier

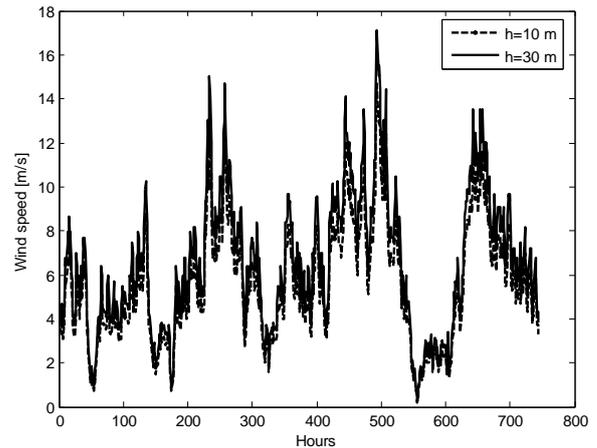


Fig. 6: Vitesse du vent à différentes hauteurs du mât : 10 m and 30 m - Adrar – Janvier

### III. QUANTITE D'EAU PRODUITE PAR LES SYSTEMES PV ET EOLIEN SELECTIONNES

Après avoir calculé, le dimensionnement optimal des deux systèmes photovoltaïque et éolien étudiés, nous représentons dans ce qui suit la quantité d'eau que pourraient produire les deux systèmes en question avec un groupe motopompe sélectionné sur la base du besoin et des caractéristiques de la source d'eau cela, en tenant compte de la variation du rendement du groupe motopompe en fonction de la puissance électrique transmise soit par le générateur photovoltaïque ou la turbine éolienne. La hauteur du puits est supposée constante.

La figure 7 représente la quantité d'eau produite par deux groupes motopompes (SP8A-10 ; SP14A-7 – Grundfos) pour une configuration optimale du générateur PV qui satisfait la charge avec une probabilité de perte d'énergie (LPSP) égale à 0.01. Nous remarquons que le système ayant le groupe motopompe SP8A-10 (débit nominal 8 m<sup>3</sup>/h) peut produire une quantité d'eau annuellement de 25 645 m<sup>3</sup> (besoin annuel 21900 m<sup>3</sup>). Le système présente un déficit durant le mois de décembre considéré comme étant le mois le plus défavorable.

D'un autre côté, La quantité d'eau pouvant être produite mensuellement avec un aérogénérateur type Fortis-montana 5000 W, utilisant séparément trois groupes motopompes différents, pour les hauteurs 18 m et 24 m, et en tenant compte de la variation du rendement du groupe motopompe avec la puissance délivrée par l'aérogénérateur, est représentée dans la figure 8. Nous remarquons que le système éolien avec le groupe motopompe SP8A-12 (débit nominal 8 m<sup>3</sup>/h) à une hauteur du moyeu de 18 m présente un surplus important (33 386 m<sup>3</sup>/an). Le système avec le groupe motopompe SP5A-12 (débit nominal 5 m<sup>3</sup>/h) et une hauteur du moyeu de 18 m présente un léger déficit pour les mois de janvier et décembre (24 922 m<sup>3</sup>/an). Par contre le système avec le groupe motopompe SP5A-12 et une hauteur du moyeu de 24 m n'enregistre aucun déficit (26 335 m<sup>3</sup>/an).

IV. ETUDE ECONOMIQUE

La méthode du coût sur la durée de vie est la plus utilisée pour évaluer la viabilité financière d'un système [14-15]. Des études économiques sur les systèmes de pompage en Algérie ont été effectuées [16, 17]. Cependant, l'utilisation des énergies renouvelables en Algérie peine à démarrer. Les problèmes majeurs sont identifiés, mais difficiles à résoudre : prix très élevés, taxes divers, etc.

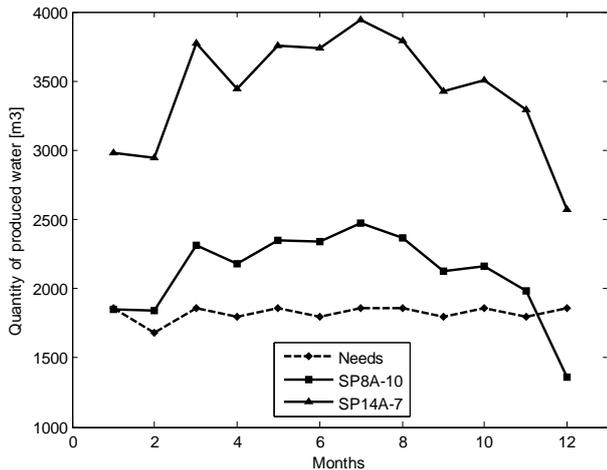


Fig. 7: Quantité d'eau produite par le système PV de pompage d'eau

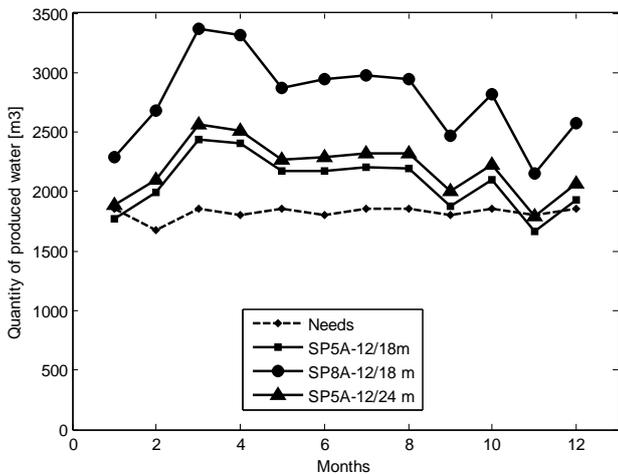


Fig. 8: Quantité d'eau produite par le système de pompage éolien - Fortis-montana 5000. Hauteur du mât : 18 m et 24 m – Adrar.

Le coût sur le cycle de vie d'un système de pompage peut être calculé en utilisant l'équation suivante :

$$LCC = C_{inv} + C_{maint} + C_{remp} \quad (6)$$

L'objectif de cette étude est de faire une comparaison de coût relative à deux options de pompage par les énergies renouvelables (PV /

Eolien) à installer dans la région d'Adrar et de définir ainsi laquelle des deux options est viable.

Les frais financiers ( $C_{if}$ , d'un système incluent les dépenses du capital initial pour les équipements, l'étude et l'installation du système.

A. Système photovoltaïque de pompage de l'eau

Les principaux composants constituant un système photovoltaïque de pompage de l'eau sont les suivants :

- Un générateur composé de modules photovoltaïques.
- Un inverseur DC/AC.
- Un groupe motopompe, dont les caractéristiques dépendent de celles de la source d'eau.
- Une structure servant de support au générateur PV.

B. Système éolien « aérogénérateur » pour le pompage de l'eau

Les systèmes éoliens pour le pompage de l'eau se composent généralement des mêmes constituants que les systèmes photovoltaïques. Nous trouvons donc :

- Un aérogénérateur, dont la hauteur du moyeu dépend des vents disponibles sur le site
- Un contrôleur
- Un inverseur
- Un groupe motopompe, dont les caractéristiques dépendent de celles de la source d'eau.

Les paramètres d'entrée utilisés pour l'évaluation économique sont les suivants : les coûts estimatifs des différents composants constituant les systèmes, les besoins journaliers, les taux d'actualisation et d'inflation, la durée de vie des systèmes de pompage PV et éolien, les valeurs de récupération, les coûts de la maintenance et d'entretien ainsi que les coûts de remplacement de certains sous ensemble. La période d'analyse est supposée égale à 20 ans. Un taux d'actualisation de 10 % et un taux d'inflation de 5 % concernent les coûts de la maintenance et du remplacement des différents équipements. Le tableau 1 présente les paramètres d'entrée pour une évaluation économique. Le coût de l'installation des systèmes (génie civil, assemblage des structures, installation du groupe motopompe à l'intérieur du puits, mise en marche, etc.) est supposé égal à 3 % du coût total des équipements. Le coût de la maintenance des équipements lors de la première année est pris égal à 1 % du coût total des équipements. Les valeurs de récupération pour tous les composants des deux systèmes de pompage sont supposées être égales à 0.

Les sous-systèmes tels que les conditionneurs d'énergie (contrôleur et inverseur) ainsi que le groupe motopompe seront remplacés après une période de 10 ans.

TABLEAU 1 : VALEURS DE BASE DES PARAMETRES D'ENTREE UTILISEES POUR L'EVALUATION TECHNICO ECONOMIQUE DU SYSTEME D'ENERGIES RENEUVELABLES AUTONOMES :

Paramètres d'entrée	Valeur	
Coût de la maintenance annuelle comme fraction du coût d'investissement	Fraction	0.01
Besoins journaliers	m <sup>3</sup>	60
Taux d'actualisation	Fraction	0.10
Taux d'inflation	Fraction	0.05
Durée de vie de la maintenance et de l'entretien	Année	20
Durée de vie du générateur PV	Année	20
Durée de vie de l'aérogénérateur	Année	10
Durée de vie de l'inverseur	Année	10
Durée de vie du contrôleur	Année	10
Durée de vie du groupe motopompe		
Valeur de récupération		0

Le tableau 2 présente les coûts des équipements des deux systèmes de pompage d'eau ; photovoltaïque et éolien (aérogénérateur).

TABLEAU 2 : COÛTS DES EQUIPEMENTS DU SYSTEME PV ET EOLIEN

Système de pompage	Coûts des équipements en 10 <sup>3</sup> DA)
Photovoltaïque	2 445
Eolien (aérogénérateur)	1 692

### 3) Comparaison du coût du mètre cube d'eau produit par les systèmes photovoltaïque et éolien

L'un des objectifs de ce travail est compte tenu des caractéristiques des différents sites étudiés, est de déterminer quelle forme d'énergie conviendrait à qui et en vue de quelles fins. En d'autres termes, il s'agira essentiellement d'identifier les sites appropriés à l'exploitation d'une source d'énergie par rapport à une autre tout en respectant la fiabilité de satisfaire le besoin au moindre coût.

Compte tenu de cette étude, il apparaît que l'utilisation d'un aérogénérateur dont la hauteur du moyeu serait égale à 18 m est la plus viable sur le site d'Adrar. Nous remarquons que ce système peut satisfaire les besoins demandés, avec une plus grande fiabilité, une meilleure sécurité et surtout à moindre coût. Ci-dessous, le tableau 3 présente une estimation des coûts du mètre cube d'eau produit par les deux systèmes photovoltaïque et éolien (aérogénérateur).

TABLEAU 3 : COÛTS ESTIMATIFS DU METRE CUBE D'EAU PRODUIT PAR LES DEUX SYSTEMES PV ET EOLIEN – SITE ADRAR

Systèmes	Coûts du mètres cube d'eau produit (DA)
Photovoltaïque	10.02
Eolien (Aérogénérateur), hauteur du moyeu 18 m	9.98

Nous pouvons remarquer pour le site d'Adrar, que le système de pompage par un système éolien (aérogénérateur) présente le moindre coût du mètre cube d'eau produit égal à 9.98 DA contre 10.02 pour le système photovoltaïque (configuration optimale).

## V. CONCLUSIONS

Nous pouvons remarquer pour le site d'Adrar, que le système de pompage par un système éolien (aérogénérateur) présente le moindre coût du mètre cube d'eau produit égal à 9.98 DA contre 10.02 pour le système photovoltaïque (configuration optimale).

## REFERENCES

- [1] La petite irrigation dans les zones Arides FAO 1997
- [2] F.Z. Kedaïd. Les perspectives d'utilisation de l'énergie géothermique au sud de l'Algérie. Bulletin des Energies Renouvelables, N° 5, Juin 2004.
- [3] N. KasbadjiMerzouk. Wind Energy Potential of Algeria. International Journal of Renewable 21, pp. 553-562, 2000.
- [4] N. KasbadjiMerzouk. Perspectives d'utilisation de systèmes éoliens de pompage sur des sites sahariens. SIPE4, Béchar, septembre 1998.
- [5] DaaouNedjari H., S. Haddouche et N. KasbadjiMerzouk. Utilisation de l'énergie éolienne pour le pompage de l'eau dans les hauts plateaux », JITH2005, Tanger, Maroc, novembre 2005.
- [6] www.ons.dz
- [7] M Capderou. Atlas solaire de l'Algérie. Tome 2. OPU
- [8] C.J. Justis, 'Wind and Wind System Performance', Franklin Institute Press, Philadelphia, 1978.
- [9] C.G. Justus, W. R. Hargraves et Ali Yalcin. Nationwide Assessment of potential output from wind-powered generators. Journal of Applied Meteorology, Vol. 15, No.7, pp. 673-678, 1978.
- [10] C.G. Justus. Vent et performances des éoliennes", Ed SCM, Paris, 1978
- [11] L. Aïche. Contribution à l'élaboration de la carte du gisement énergétique éolien de l'Algérie, Mémoire de magister, Blida, Algérie – Janvier 2003.
- [12] A. S. Mikhaeil et C.G.Justus. Comparison of Height Extrapolation Models and Sensitivity Analysis. Wind Engineering, Vol.5, N°2, pp. 91-106, 1981.
- [13] A. S. Mikhaeil. Height Extrapolation of Wind Data. Journal of Solar Energy Engineering, Vol.107, pp. 10-14, Feb. 1985
- [14] Purohit P. Financial evaluation of renewable energy technologies for irrigation water pumping in India. Energy Policy 2007;35(6):3134-44.
- [15] Chandrasekar B, Kandpal TC. Effect of financial and fiscal incentives on the effective capital cost of solar energy technologies to the user. Solar Energy 2005;78:147-56.
- [16] Bouzidi B, Haddadi M, Belmokhtar O. Assessment of a photovoltaic pumping system in the area of the Algerian Sahara. Renewable and Sustainable Energy Reviews 2009;13(4):879-86.
- [17] Bouzidi B. Contribution à l'amélioration du pompage d'eau par les énergies renouvelables. Thèse de Doctorat. ENP. Alger. 2010
- [18] Rajendra Prasad A, Natarajan E. Optimization of integrated PV/wind power generation systems with battery storage. Energy 2006;31:1943-54.
- [19] Nguyen QK. Alternatives to grid extension for rural electrification: decentralized renewable energy technologies in Vietnam. Energy Policy 2007;35:2579-89.
- [20] Bhuiyan MMH, Asgar MA, Mazumder RK, Hussain M. Economic evaluation of a stand-alone residential PV power system in Bangladesh. Renewable energy 2000;21:403-10.