Revue des Energies Renouvelables Vol. 14 N°3 (2011) 381 – 395
DOI: https://doi.org/10.54966/jreen.v14i3.267

Perspective du pompage éolien appliqué à l'irrigation du palmier dattier dans la région de Béchar

Mustapha Benabdelkader[1], Ali Malek[2] et Belkacem Draoui[1]

[1] Département de Génie Mécanique, Faculté des Sciences et Technologies
Université de Béchar, B.P. 417, Route de Kénadza, Béchar, Algérie

[2] Division Energie Solaire Photovoltaïque, Centre de Développement des Energies Renouvelables
B.P. 62, Route de l'Observatoire, Bouzaréah, Alger, Algérie

(reçu le 22 Février 2011 – accepté le 29 Septembre 2011)

Résumé - *Dans le sud algérien, le développement de la culture du palmier dattier et la préservation du patrimoine phoenicicultural déjà existant constitue une préoccupation majeure des agriculteurs de ces oasis. L'extension de cette activité encouragée par le programme de soutien de l'état à la plantation de nouvelles parcelles de palmier s'est heurtée à la contrainte de l'électrification, indispensable au puisage de l'eau d'irrigation. A cet effet, l'article est axé sur l'étude du pompage éolien appliqué à l'irrigation du palmier dattier dans trois sites, situés dans la région de Béchar, à savoir: Béni-Abbès, Béchar Nord et Moughel. Le choix de ces sites a obéit aux critères suivants: - Existence des données de mesure des facteurs climatiques, sur une période de dix années [4], ayant permis l'évaluation du potentiel éolien et l'étude des possibilités de son exploitation dans le pompage de l'eau irrigation; - Disponibilité d'études sur les ressources hydriques locales, mettant en évidence les débits des nappes souterraines dans la région [2]; - Plantation du palmier dattier et des cultures sous jacentes, représente une pratique ancestrale pour la population de ces localités. Dans cette étude, la distribution statistique du vent a été effectuée à la hauteur du mat de l'aérogénérateur choisi, sur la base du débit quotidien maximal à satisfaire pour cette culture à une hauteur manométrique de 30 m. Les puissances disponibles et utilisables, ainsi que les débits moyens quotidiens susceptibles d'être pompés ont été estimés et comparés. En dernière partie de cet article, il a été consacré à la conclusion qui a fait ressortir l'intérêt du jumelage de l'utilisation de l'énergie éolienne dans le pompage d'eau et l'application de la technique moderne d'irrigation localisée au palmier dattier dans la région de Béchar.*

Abstract – *In southern Algeria, the development of date palm cultivation and preservation of existing phoenicicultural is a major concern of farmers in these oases. The extension of this activity encouraged by the program of state support for planting new fields of palm collided with the stress of electrification, which is essential to drawing water for irrigation. To this end, the article focuses on the study of applied wind pumping for irrigation of date palm in three sites, located in the region of Béchar, namely: Béni-Abbès, Béchar North Moughel. The choice of these sites is subject to the following criteria: - The existence of measurement data of climatic factors over a period of ten years [4], which allowed the evaluation of wind potential and exploring the possibilities of its operations in the pumping irrigation - availability of studies on local water resources, highlighting the flow of groundwater in the region [2] - the date palm plantation and the underlying cultures, is an ancient practice for the population in these localities. In this study, the statistical distribution of the wind was conducted at the height of the tower the turbine selected, based on the maximum daily flow to meet for the crop to a discharge head of 30 m. The powers available for use, and the average daily flow that can be pumped were estimated and compared. The final part of this article was devoted to the conclusion that highlights the interest of matching the use of wind energy in water pumping and application of modern technology of drip irrigation the date palm in the region of Béchar.*

Mots clés: Palmier dattier - Micro irrigation - Régime de vent - Aérogénérateur – Pompage éolien – Débit.

1. INTRODUCTION

En Algérie, l'intégration du solaire et de l'éolien dans la production d'électricité s'inscrit dans le cadre de la stratégie du secteur de l'énergie, qui vise l'accroissement de la part des énergies renouvelables dans le bilan énergétique national pour atteindre le taux de 6 % à l'horizon 2015. [10]

L'utilisation rationnelle de l'énergie, impose l'exploitation des énergies renouvelables disponibles, particulièrement en sites isolés, surtout avec l'épuisement, vraisemblablement, des énergies fossiles vers l'an 2040 [8], de surcroît cette vision s'inscrit dans le cadre de la préservation de l'environnement et du développement durable.

Cette étude traite du pompage éolien appliqué à l'irrigation du palmier dattier dans la région de Béchar au niveau des trois sites suivants: Béni-Abbès, Béchar et Moughel.

Le choix de la technique d'irrigation dite 'goutte à goutte' a un double objectif, à savoir, elle permet la préservation de la ressource hydrique, par l'économie considérable d'eau qu'elle procure par rapport à l'irrigation gravitaire traditionnelle, surtout au Sahara où cette ressource est rare, et elle permet aussi un dimensionnement optimal de la taille du système éolien de pompage, en raison du faible débit moyen quotidien appelé pour répondre au besoin de l'hectare de palmier dattier.

Cette approche est basée sur le fait que la région de Béchar, située en zones arides, dispose de potentialités éoliennes non négligeables, car on y constate des vents de vitesse moyenne mensuelle excédant 5 m/s. [4]

2. MODELISATION MATHEMATIQUE

Le principe d'exploitation de l'énergie du vent dans le pompage d'eau est basé sur la transformation de l'énergie cinétique qu'il contient en énergie mécanique, une fois en contact avec les pales de la machine éolienne.

Pour l'aérogénérateur, l'énergie mécanique est à son tour transformée en énergie électrique au niveau de l'alternateur qui alimente un système de motopompe. [6]

L'énergie du vent subie une succession de pertes dues principalement au phénomène connu sous le nom de limite de Betz [11], qui traduit l'impossibilité de céder totalement l'énergie cinétique a la surface de contact de l'aérogénérateur, étant donné que la vitesse du vent juste en aval de la roue n'étant pas nulle et aux pertes par conversion d'énergie d'une forme à une autre, de l'arbre de l'éolienne jusqu'à la pompe.

2.1 Puissance éolienne disponible

La puissance éolienne caractérise la quantité d'énergie disponible par unité de surface balayée par l'éolienne. Elle exprime la spécificité du site et s'écrit:

$$P = 1/2 \times \rho \times \left\langle V^3 \right\rangle \quad (1)$$

ρ : Masse volumique de l'air aux conditions standards (ρ = 1,25 kg/m^3)

$\left\langle V^3 \right\rangle$: Vitesse cubique moyenne du vent, exprimée en m^3/s^3

La détermination de la vitesse cubique moyenne est basée sur l'étude statistique du vent par l'utilisation de la distribution de Weibull dont le modèle mathématique s'écrit comme suit:

$$f(v) = (k/c) \times (v/c)^{k-1} \times \exp\left(-(v/c)^k\right) \quad (2)$$

$f(v)$ représente la fonction de distribution de Weibull.

La vitesse cubique moyenne étant l'intégrale du moment d'ordre 3, exprimée par l'équation ci-après:

$$\left\langle V^3 \right\rangle = \int_0^{\infty} V^3 \times f(v) \times dv \quad (3)$$

On déduit après intégration et reconnaissance de fonction spéciale, ce qui suit:

$$\overline{V^3} = c^3 \times \Gamma \times (1 + 3/k) \quad (4)$$

Γ : Fonction gamma.

Les stations météorologiques pour des raisons de normalisation effectuent les mesures du vent à 10 m du sol, toutefois les dimensions des aérogénérateurs commercialisés imposent des hauteurs importantes pouvant atteindre 70 m, pour les machines éoliennes de grande puissance [11].

A cet effet, l'extrapolation des vitesses du vent aux axes de rotation des éoliennes devient impérative, ce qui par conséquent entraîne une variation du mode de distribution du vent.

Pour procéder à cette extrapolation, le modèle empirique adopté est la loi de puissance modifiée de Mikhael, compte tenu qu'il tient compte non seulement de la variation de la hauteur, mais aussi de la rugosité du terrain et des conditions climatiques. [3]

Les mesures de la vitesse moyenne du vent au niveau des stations professionnelles de l'Office National de la Météorologie 'ONM' à Béchar et Béni-Abbès ont été effectuées à 10 mètres du sol, quant au site de Moughel, elles ont été prises à 2 mètres, étant donnée la nature de la station météorologique qui est de type semi automatique.

2.2 Puissance éolienne récupérable

La vitesse du vent en aval de l'hélice de l'aérogénérateur, n'étant jamais nulle, ce qui implique que l'énergie du vent n'a pas été complètement extraite. Ce phénomène dû à la limite de Betz, est caractérisé par un coefficient égal à 16/27, qui signifie que seule 59 % de l'énergie cinétique du vent est récupérée. [12]

La puissance éolienne récupérable après le passage de la roue de l'aérogénérateur s'exprime par l'équation suivante:

$$P_{rec} = \frac{16}{27} \times \left\langle P \right\rangle \quad (5)$$

2.3 Puissance éolienne utile

L'aérogénérateur est caractérisé par une vitesse de démarrage due à l'inertie de son arbre et une vitesse d'arrêt imposée par les exigences de la sécurité et ce pour éviter son endommagement par des vents forts ou des cyclones, ce qui limite l'intervalle des vitesses productrices d'énergie.

La puissance utile s'exprime par la formule ci-après:

$$\langle P \rangle = \frac{1}{2} \times \rho \times S \times V_u^3 \tag{6}$$

S : Surface balayée par l'hélice

L'expression explicite de la puissance utile produite par la machine éolienne est donnée par l'équation suivante: [11]

$$P_u = \begin{cases} 0 & \text{pour} \quad V < V_d \\ \frac{1}{2} \times \rho \times V^3 & \text{pour} \quad V_d \le V \le V_n \\ \frac{1}{2} \times \rho \times V_n^3 & \text{pour} \quad V_n \le V \le V_c \\ 0 & \text{pour} \quad V > V_c \end{cases} \tag{7}$$

$$V_u = \int_{V_d}^{V_n} f(V) \times V^3 \, dV + V_n \times \int_{V_n}^{V_c} f(V) \times dV \tag{8}$$

Après intégration et développement de l'équation (8), on obtient ce qui suit:

$$\begin{aligned} \overline{V_u^3} = & \left[\Gamma \times \left(1 + \frac{3}{k}, \left(\frac{V_n}{c} \right)^k \right) - \Gamma \times \left(1 + \frac{3}{k}, \left(\frac{V_d}{c} \right)^k \right) \right] \times \overline{V^3} \\ & + V_n^3 \times \left[\exp\left(-\left(\frac{V_n}{c} \right)^k \right) - \exp\left(-\left(\frac{V_c}{c} \right)^k \right) \right] \end{aligned} \tag{9}$$

Les vitesses inférieures au seuil de démarrage ne produisent aucune énergie, et cela est du à leur incapacité de faire fonctionner les pales de l'aérogénérateur.

Les vitesses supérieures à la vitesse de coupure, n'ont aucun effet, compte tenu que l'éolienne se met automatiquement en drapeau pour sa protection contre la destruction.

La vitesse cubique utile moyenne est donnée par l'intégration de la vitesse cubique pondérée par la fonction de probabilité entre les limites des vitesses caractéristiques de l'aérogénérateur.

2.4 Puissance éolienne utilisable

La puissance utile moyenne est liée à la puissance électrique sortie machine par un rapport exprimant le rendement de transformation.

En considérant le rendement de l'aérogénérateur, la puissance éolienne moyenne réellement utilisable est égale à:

$$\langle P_e \rangle = \eta \times \langle P_u \rangle \quad (10)$$

Le rapport de la puissance nominale fixée par le constructeur a la puissance théorique de l'aérogénérateur correspondant à la vitesse nominale constante du vent, définie le rendement de la machine. [11]

$$\langle P_{théo} \rangle = 1/2 \times \rho \times S \times \left\langle V_n^3 \right\rangle \quad (11)$$

Les systèmes de pompage éolien sont utilisés au maximum de leur performance si leur choix est effectué correctement en fonction des paramètres du site d'implantation.

2.5 Débit journalier du pompage éolien

La modélisation de la pompe éolienne est donnée par l'équation ci-après faisant ressortir, particulièrement la relation entre le débit, la hauteur manométrique et la masse volumique du fluide.

$$Q_j = 3600 \times 24 \times (\eta \times P_u / \rho \times g \times H) \quad (12)$$

η est le rendement du système de pompage, ρ_e la masse volumique de l'eau, (ρ_e = 1000 kg/m^3), g l'accélération de la pesanteur, (g =9.81 m/s^{-2}), h la hauteur manométrique totale en m et Q_j le débit journalier en m^3/j.

3. APPLICATION

3.1 Débit caractéristique pour une culture

En agronomie, le débit caractéristique pour une culture donnée ou 'main d'eau' représente la quantité d'eau nécessaire à l'irrigation d'un hectare de cette culture par jour. [5]

Pour notre cas d'étude, ce débit de dimensionnement de l'équipement de pompage est déduit de l'évaluation des besoins en eau d'une superficie d'un hectare de palmier dattier, qui équivaut à 123 palmiers dattiers espacés de 10 m l'un de l'autre, plantés dans la région de Béchar.

Le modèle de Penman basé sur la connaissance de l'évapotranspiration est adopté dans l'estimation des besoins en eau de notre culture.

3.1.1 Evapotranspiration potentielle

L'évapotranspiration potentielle est la base fondamentale d'estimation des besoins en eau des cultures. Elle représente la somme des volumes d'eau, utilisés par la plante et évaporés par la surface du sol. [5]

En effet, l'évapotranspiration dépend de l'énergie solaire radiante et de la turbulence de l'atmosphère, qui sont deux phénomènes liés directement à la température, à l'humidité de l'air, au vent et à la durée d'ensoleillement. [9]

Les données statistiques des facteurs climatiques d'humidité, d'ensoleillement, de température et de vent ayant fait l'objet de traitement dans le modèle de Penman décrit ci-après sont extraites de l'Atlas climatologique de l'ONM/Béchar

L'équation décrivant le modèle est comme suit:

$$E_{tp} = C\left[W \times R_n + (1 - W) \times f(u) \times (E_a - E_d)\right] \quad (13)$$

où W est le coefficient de pondération, R_n le rayonnement solaire total net, E_a et E_d les tensions de vapeurs réelles saturante en mbars et $f(u)$ la fonction du vent.

L'évapotranspiration réelle du palmier dattier est exprimée d'après l'équation suivante:

$$E_{tr} = K_c \times E_{tp} \quad (14)$$

Où K_c est le coefficient cultural du palmier et E_{tr} l'évapotranspiration réelle.

Le coefficient cultural moyen du palmier dattier du Sahara continental, cas du sud algérien, est égal à $K_c = 0{,}75$, [7]

3.1.2 Les techniques d'irrigation

Le volume d'eau à apporter pour l'irrigation de notre parcelle de palmier dépend des conditions climatiques, de la texture du sol et de la technique d'irrigation utilisée. [5]

La nature du sol considéré est du type moyen "limoneux sableux", permettant une bonne rétention d'eau et empêchant la percolation profonde.

L'irrigation gravitaire traditionnelle qui est encore usitée au sud algérien, consiste au ruissellement de l'eau sur le sol et à son infiltration verticalement.

En ce qui concerne, l'irrigation localisée dite aussi "goutte a goutte", elle repose sur l'humectation en permanence non pas de la totalité du sol, mais seulement de la fraction du sol, occupée par les racines.

Par cette technique, l'eau est repartie à la surface du sol par des goutteurs, placés au pied de chaque palmier [13], qui fournissent chacun un débit faible de telle manière que la durée d'irrigation devient presque quasi-continue.

Dans notre étude, le rendement de la micro irrigation correspond au rapport entre l'eau réellement mise à profit pour le palmier et l'eau apportée en tête de parcelle, ainsi que le coefficient moyen d'uniformité des débits des goutteurs sont pris respectivement égal à 0.90 et 0.85.

Une relation empirique existe entre les quantités d'eau nécessaires à la culture irriguée en mode gravitaire et celles à apporter en cas d'irrigation localisée [5].

Cette équation s'exprime comme suit:

$$Q_1 = Q_g \times (k_0 + 0.90\, p) \quad (15)$$

Où Q_1 est le volume d'eau pour l'irrigation localisée, Q_g le volume d'eau pour l'irrigation gravitaire, p la fraction du sol couverte par le feuillage des plantes et k_0 le coefficient d'effet d'oasis.

3.1.3 Simulation des besoins en eau par le modèle de Penman

L'évaluation du besoin moyen quotidien en eau pour un hectare de palmier dattier dans la région de Béchar a donné les résultats regroupés au **Tableau 1**.

Tableau 1: Evaluation des besoins en eau pour un hectare de palmier dattier

Mois	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
Evapotranspiration potentielle (mm/j)	2.70	3.76	5.28	7.52	10.21	11.54	11.77	10.90	8.71	5.82	3.76	2.51
Besoin brut en eau -mode traditionnel (m^3/j)	20.2	28.20	39.96	56.40	76.60	86.60	**88.30**	81.80	65.30	43.60	27.50	18.80
Besoin brut en eau -micro irrigation (m^3/j)	13.36	18.60	26.14	37.23	50.54	57.13	**58.27**	53.96	43.12	28.81	18.61	12.42

L'analyse des résultats obtenus fait ressortir que la comparaison entre les débits d'eau quotidiens apportés au palmier par le mode d'irrigation localisée fait gagner 34 % d'économie d'eau par rapport à l'irrigation gravitaire traditionnelle.

En effet, le volume d'eau moyen annuel nécessaire pour l'arrosage de notre superficie par le mode gravitaire est de 19.321 m^3, tandis que pour son irrigation en goutte à goutte, il n'est que de 12.754 m^3.

Le besoin d'apogée en eau du palmier dattier cultivé dans la région de Béchar intervient au mois de juillet, qui correspond à la phase de constitution de son fruit.

Le débit de dimensionnement de l'équipement du pompage correspond au besoin quotidien moyen en eau du mois de juillet, pour l'hectare du palmier irrigué à la technique du goutte à goutte, donc, il est de 58,27 m^3/jour, soit 0.67 l/s/ha.

Le débit moyen d'eau des forages des nappes souterraines des localités, objet de cette étude, dépasse les 4 l/s, ce qui excède largement le besoin en eau, sollicité quotidiennement et évite l'apparition du phénomène d'exhaure. [2]

3.2 Choix de l'aérogénérateur

L'aérogénérateur choisi est d'une puissance de 10 kW, fabriqué par le constructeur 'Atlantic Orient Corporation', placé à une hauteur de 24 au dessus du sol, et dont les spécifications techniques sont illustrés au **Tableau** ci-après. [1]

Tableau 2: Spécifications techniques de l'aérogénérateur

Puissance Nominale (kW)	Vitesse de démarrage (m/s)	Vitesse nominale (m/s)	Vitesse maximale de service (ms)	Hauteur (m)	Diamètre (m)
10	2.50	11	60	24	7

Le rendement global du système pompe – génératrice est égal à 25 %, selon le catalogue du constructeur de cet équipement.

4. RESULTATS ET DISCUSSION

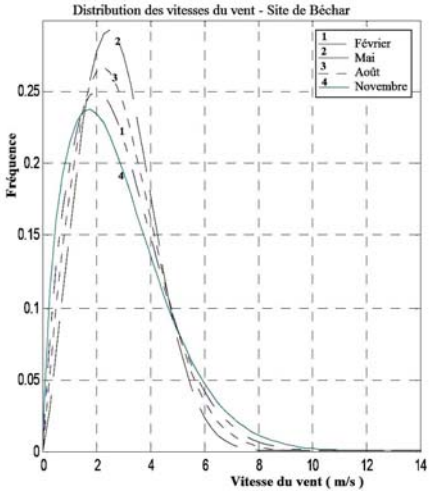
4.1 Distribution mensuelle du vent

L'étude statistique des données du vent pour les trois sites choisis a permis de déterminer les coefficients de forme et d'échelle, en utilisant la méthode d'ajustement dite de vitesse moyenne et de variabilité du vent.

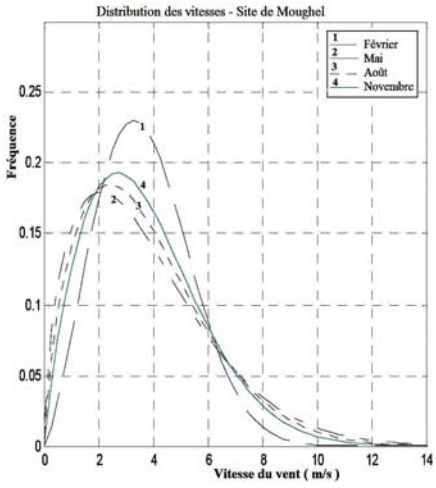
Le régime du vent représenté dans la figure 2, est appliqué pour quatre mois représentant les saisons de l'année (février, mai, août et novembre), on remarque une nette dispersion dans la distribution des fréquences mensuelles des vitesses du vent sur le site de Moughel, plus que les deux autres sites de Béchar et Béni-Abbès, avec des vitesses pouvant dépasser 6.27 m/s au mois de Mai à hauteur de 24 m du niveau du sol.

Pour le site de Béchar, la vitesse moyenne maximale est enregistrée au mois de Mai au même titre qu'a Béni-Abbès, elles sont égales respectivement à 5.84 m/s et 3.34 m/s.

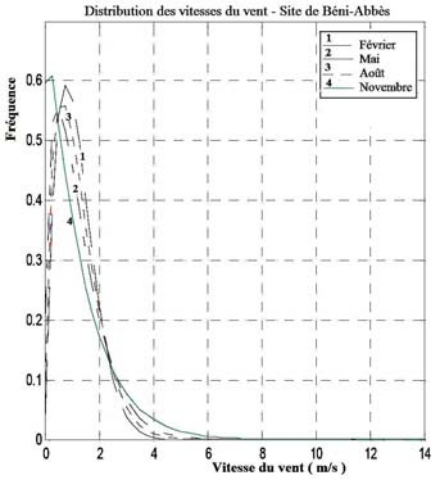
Les vitesses du vent dans les trois sites n'atteignent jamais la vitesse maximale de service de l'aérogénérateur sélectionné qui est de 60 m/s.



Représentation des régimes du vent sur le site de Béchar



Représentation des régimes du vent sur le site de Moughel

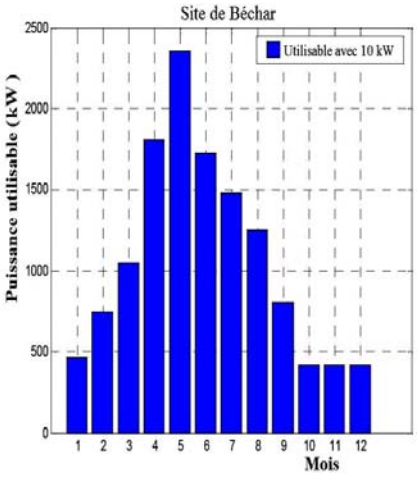


Représentation des régimes du vent
sur le site de Béni-Abbès

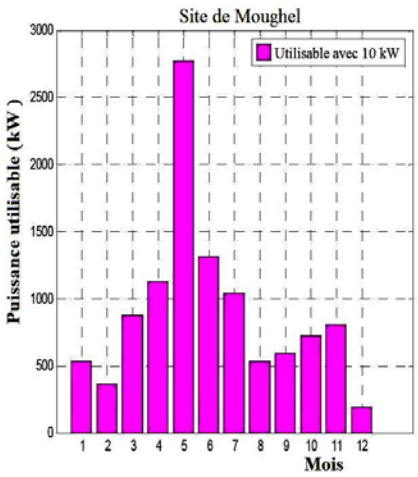
Fig. 1: Représentation des régimes du vent sur les trois sites

4.2 Détermination de la puissance utilisable

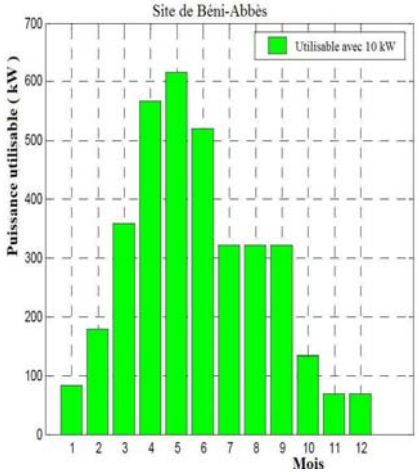
Les puissances utilisables moyennes mensuelles produites par l'aérogénérateur AOC/10 pour les sites de Béchar, Moughel et Béni-Abbès sont représentées sur les graphiques suivants.



Puissance utilisable
en fonction du temps



Puissance utilisable
en fonction du temps



Puissance utilisable
en fonction du temps

Fig. 2: Histogrammes des puissances utilisables sur les trois sites

Ces puissances générées par l'alternateur reproduisent les mêmes allures que celles des vitesses cubiques moyennes, des puissances utiles, étant donné les coefficients de proportionnalité qui lient ces paramètres.

Le maximum de cette puissance intervient au mois de Mai, tandis que son minimum coïncide avec le mois de Décembre, cette observation est valable pour les trois sites étudiés.

Aussi, on peut constater aisément que la puissance d'apogée fournie par l'aérogénérateur correspond à 2.76 kW sur le site de Moughel et à 2.35 kW pour Béchar, d'autre part, on retient que la quantité d'énergie électrique moyenne annuelle produite sur le site de Béni-Abbès est égale à 2603 kWh et demeure inférieure à celles produites sur les autres sites.

4.3 Facteurs d'influence du débit

Les débits du pompage éolien de notre aérogénérateur, varient selon les trois sites et les périodes de l'année. L'ensemble des facteurs ayant une influence sur le débit, y compris la profondeur du puits et la hauteur d'élévation de l'hélice de la machine, sont mis en évidence dans les résultats résumés au **Tableau 2** ci-dessous.

4.3.1 Influence du site

L'analyse des résultats du **Tableau 2**, fait apparaître clairement l'influence du site. En effet, on remarque que pour la même période, même hauteur manométrique et hauteur du mat de l'aérogénérateur, les débits journaliers obtenus pour le site de Béni-Abbès pour le mois de Mai, (58.91 m^3) sont faibles par rapport à ceux obtenus pour les sites de Béchar et Moughel qui sont respectivement de 239 m^3 et 280 m^3, ce qui s'explique par la faiblesse du potentiel éolien du premier site.

Tableau 2: Variation des débits de pompage de la machine 'AOC/10 en fonction des facteurs influents

Hauteur Mano métrique H_m (m)	Hauteur du pylône de l'aéro Générateur h (m)	Volume journalier d'eau pompée (m^3/j)					
		Béchar		Béni-Abbès		Moughel	
		Mai	Déc	Mai	Déc	Mai	Déc
20	18	239	40.61	58.91	6.45	280	17.84
	24	259.63	46.41	67.62	7.61	304.39	20.87
	30	275.63	51.31	75	8.67	323.23	23.51
30	18	159.38	27	39.27	4.30	186.69	11.89
	24	173	30.94	45	5.07	202.93	13.91
	30	183.75	34.21	50.06	5.78	215.48	15.67

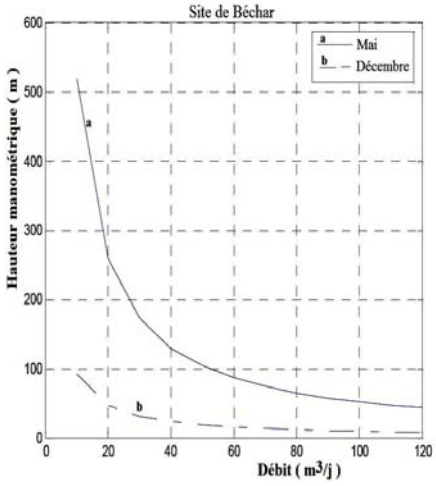
4.3.2 Influence de la période

On constate que, pour les trois sites, avec des hauteurs manométriques différentes et divers hauteurs du mât de la machine éolienne, les volumes d'eau pompés au mois de Mai sont toujours élevés par rapport à ceux obtenus au mois de Décembre, ce qui s'explique par les niveaux des vitesses moyennes journalières observées lors du mois de Mai de chaque année.

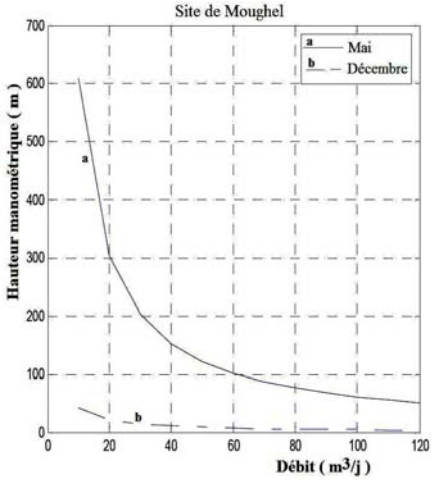
4.3.3 Hauteur du pompage

L'augmentation de la profondeur des forages qui se traduit par des hauteurs manométriques élevées, influe négativement sur les volumes d'eau obtenus et ce quelque soit le site et la hauteur du moyeu de l'hélice de l'aérogénérateur.

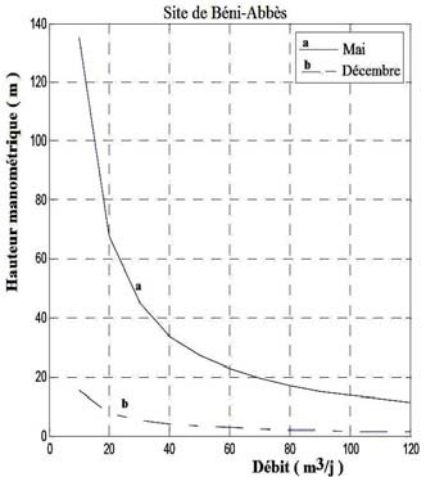
A titre indicatif, pour le site de Moughel, le débit journalier; qui était de 280 m^3, pour une hauteur manométrique de 20 m, chute à la valeur de 202.83 m^3, lorsque cette dernière augmente de 10 m.



Débit en fonction de la hauteur



Débit en fonction de la hauteur



Débit en fonction de la hauteur

Fig. 4: Evolution des débits en fonction de la hauteur pour les trois sites

La figure 4 illustre bien les courbes de décroissance des débits pompés pour les trois sites en fonction de la hauteur manométrique, correspondant aux mois représentatifs des extrêmes (Mai et Décembre).

4.3.4 Hauteur du mât de l'aérogénérateur

Les aérogénérateurs présentent généralement des hauteurs diverses du mât. Pour l'aérogénérateur sélectionné pour cette étude, il peut être monté au choix sur trois haubans différents de 18 m, 24 m ou 30 m.

L'influence de l'élévation de la hauteur du mât est mise en évidence par les résultats du **Tableau 2**. En effet, en fixant une hauteur manométrique sur les trois sites, nous constatons, que l'augmentation de la hauteur du mât de la machine se traduit par un accroissement des quantités d'eau pompées.

A titre illustratif, pour le site de Béchar, avec une hauteur manométrique de 20 m et une élévation du l'hélice de la machine de 18 m, le débit est de 40.61 m^3 au mois de Décembre, alors qu'il passe à 51.31 m^3, lorsque la hauteur devient 30 m; soit un gain en débit de 21 % pour une différence de hauteur de 12 m.

4.4 Quantités d'eau pompées

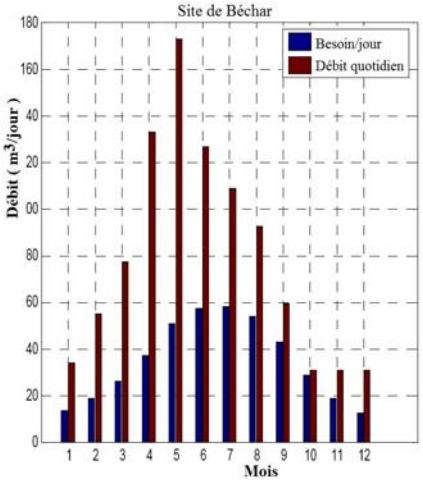
La comparaison des performances de la machine de pompage éolien, installée sur les trois sites d'étude a donné les résultats illustrés sur les histogrammes de la figure 5.

On remarque sur la figure 5, que l'aérogénérateur répond bien aux besoins en eau exprimés pour la culture du palmier dattier sur les sites de Béchar et Moughel pour tous les mois de l'année, avec les observations suivantes.

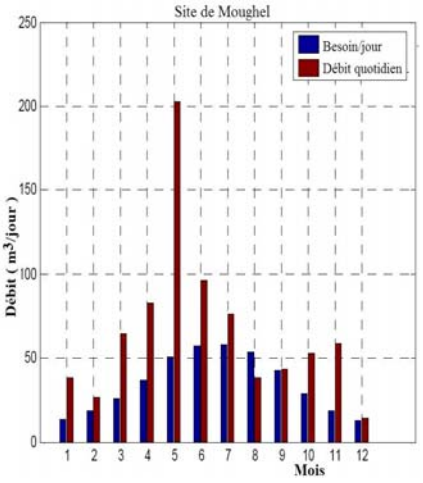
A Béchar, pour le mois d'octobre, le débit moyen journalier pompé qui était de 30.94 m^3/jour, est presque égal au besoin quotidien sur ce même mois (28.81 m^3/jour).

A Moughel, le volume d'eau pompé au mois de Mai, soit 202 m^3/jour, constitue un pic par rapport au besoin quotidien moyen de tous les mois de l'année et dépasse le

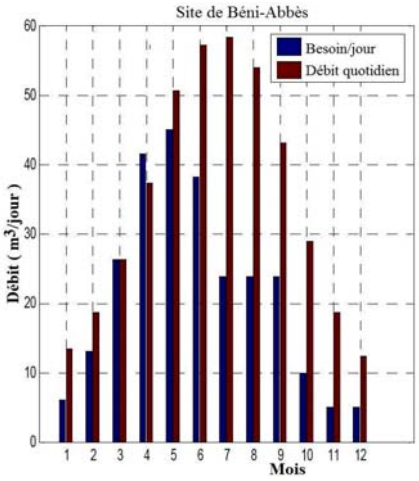
débit sollicité pour le même mois (50.54 m^3), soit quatre fois plus; et que d'autre part, on constate un faible écart entre le besoin en eau et le volume pompé au mois de Décembre, qui sont respectivement de 12.42 m^3 et 13.91 m^3.



Débit en fonction du temps



Débit en fonction du temps



Débit en fonction du temps

Fig. 5: Comparaison des performances de la machine pour les trois sites

A Béni-Abbès, un déficit en volume d'eau moyen journalier apparaît au mois de février entre le besoin et le volume d'eau pompé, soit 41.54 m^3/jour contre 37.23 m^3/jour.

Des quantités supplémentaires d'eau par rapport aux besoins de culture sont dégagées par le pompage éolien. Etant donné son caractère aléatoire dans le temps, ces

dernières peuvent être utilisées dans l'irrigation des cultures dites sous jacentes qui se pratiquent dans ces oasis sous l'ombre du palmier.

5. CONCLUSION

D'après l'étude de la distribution du vent et des débits de pompage, estimés pour les sites de Béchar, Moughel et Béni-Abbès, on peut conclure que l'application du pompage éolien jumelée au procédé de l'irrigation localisée, peut constituer une solution au problème de développement du palmier dattier dans la région de Béchar, étant donné qu'elle règle le problème d'indisponibilité de l'énergie conventionnelle sur site, d'une part, et procure une économie importante d'eau d'irrigation, d'autre part, surtout en cette zone aride .

Enfin, il est recommandé l'application de ces systèmes éoliens pour les sites de Béchar et de Moughel, plutôt que les sites de Béni-Abbès, compte tenu du potentiel éolien acceptable et du régime favorable du vent pour les deux premiers sites.

NOMENCLATURE

P : Puissance éolienne, W

ρ : Masse volumique, kg/m^3

k : Facteur de forme

c : Facteur d'échelle, m/s

P_u : Puissance utile, W

V_u : Vitesse utile, m/s

V_n : Vitesse nominale aérogénérateur

Q_l : Volume d'eau Micro irrigation, m^3

K_c : Coefficient cultural

V_d : Vitesse de démarrage, m/s

V : Vitesse mensuelle moyenne, m/s

A : Surface de l'éolienne, m^2

η : Rendement de l'éolienne

g : Accélération de la pesanteur, m/s^2

h : Hauteur manométrique, m

E_{tr} : Evapotranspiration réelle, mm

Q_g : Volume eau Irrigation, m^3

k_0 : Coefficient d'effet d'oasis

p : Fraction du sol couverte par le feuillage des plantes

REFERENCES

[1] Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie, '*Catalogue des Fabricants des Aérogénérateurs de Petite et Moyenne Puissance*', ADEME, 2002.

[2] ANRH, '*Inventaire des Forages des Wilayas en Algérie*', Internal Report of Hydraulic Institute, P200, 2000.

[3] A.S. Mikhaeil and C.G. Justus, '*Comparison of Height Extrapolation Models and Sensitivity Analysis*', Journal of Wind Engineering, Vol. 5, N°2, pp. 91 – 106, 1981.

[4] Atlas Climatologique National, '*Office National de Météorologie, Station de Béchar*', Algérie, 1985.

[5] M. Poirée et C. Ollier, '*Irrigation, les Réseaux d'Irrigation, Théorie, Technique et Economie des Arrosages*', Edition Eyrolles, Paris, p. 405, 1962.

[5] D. Le Gourières, '*L'Energie Eolienne, Théorie, Conception et Calcul Pratique des Installations*', Edition Eyrolles, Paris, 1982.

[7] G. Toutin, '*Agriculture Saharienne*', Edition Eyrolles, Paris, 1978.

[8] G. Gerges, A. El-Ali, N. Moubayed and R. Outbib, '*L'Energie Eolienne au Liban: Bilan Annuel, Rendement et Rentabilité*', 6th International Conférence on Electromechanical and Power Systems Chi_in_u, Rep. Moldova, pp. 361 - 366, Octobre 4-6, 2007.

[9] M. Benabdelkader, '*Contribution à l'Etude des Techniques d'Irrigation Appropriées en Zones Arides et Semi-Arides, Utilisant des Systèmes de Pompage Photovoltaïque*', Mémoire de Magister, Université de Bechar, Février 2004.

[10] Ministère de l'Energie et des Mines, '*Guide des Energies Renouvelables*', Edition 2007.

[11] N. Kasbadji-Merzouk et M. Merzouk, '*Estimation du Potentiel Energétique Eolien Utilisable - Application au Pompage dans les Hauts Plateaux*', Revue des Energies Renouvelables, Vol. 9, N°3, pp. 155 – 163, 2006.

[12] N. Kasbadji-Merzouk, M. Merzouk et B. Benyoucef, '*Extrapolation Verticale des Paramètres de Weibull pour l'Estimation du Potentiel Récupérable*', Revue des Energies Renouvelables, ICRESD-07, Tlemcen, pp. 193 – 198, 2007.

[13] L. Zella and A. Kettab, '*Numerical Methods of Micro Irrigation Lateral Design*', Revue Biotechnologie Agronomie Société Environnement, Vol. 6, N°4, pp. 231 - 238, 2002.

[14] N. Kasbadji-Merzouk and M. Merzouk, '*Useful Wind Powers Machine Estimation, Application to Water Pumping Systems in South of Algeria*', 27th International Conference of CIGR IV, 'The Efficient Use of Electricity and Renewable Energy Sources), Izmir, Turquie, September 2005.

[15] N. Kasbadji-Merzouk and M. Merzouk, '*Useful Power Density of a Wind Machine in Algeria'*, Proceedings of IMEC2004, International Mechanical Engineering Conference, Kuwait, December 5-8, 2004.