

Système Hybride (Eolien, Solaire) pour l'Alimentation Electrique d'une Charge à usage Domestique

D. Koussa, M. Alem et M. Belhamel

Centre de développement des énergies renouvelables, BP.62, Bouzaréah, Alger

Résumé – *L'exploitation des potentiels énergétiques (solaire et éolien) pour la production de l'électricité s'avèrent être rentable dans les régions isolées là où l'extension du réseau électrique conventionnel serait une contrainte financière. A cet effet, ce système serait destiné à alimenter une charge à usage domestique et pouvoir satisfaire aux besoins avec une certaine garantie en matière d'autonomie.*

Ainsi le travail proposé consiste en un dimensionnement d'un système hybride (solaire et éolien) de production continue de l'énergie électrique. Dans ce travail nous allons mettre en évidence que la gestion de ce système dépend essentiellement de la consommation demandée ce qui nous permettrait de prévoir des systèmes de stockage appropriés pour assurer une meilleure autonomie.

Par ailleurs, la simulation en temps réels du fonctionnement des différentes parties du système nous permettra de définir le meilleur apport énergétique entre le générateur éolien et le générateur photovoltaïque.

Abstract – *The exploitation of the energetic potential (solar and wind) for the production of electricity proves to be an adequate solution in isolated regions where the extension of the grid network would be a financial constraint.*

So the proposed work consists in the sizing of a hybrid system (solar and wind) with continuous production of electrical energy. This being based on meteorological and radiometric data measured on site, this survey allowed us to put into evidence that the management of this system depends essentially, on the one hand on the available renewable Energies and on the other hand on the needed consumption. This drove us to plan for some suitable storage systems to insure a better autonomy.

Furthermore, the simulation in real time of the working of different parts of the system, allowed us to define the best energetic contribution between the wind generator and the photovoltaic generator.

Mots-clés : Eolien - Photovoltaïque - Hybride - Electricité - Charge

1. INTRODUCTION

Le problème d'électrification des locaux dans les sites isolés de notre pays représente un lourd fardeau financier. Installer des lignes électriques sur des centaines de kilomètres ne pourra pas résoudre ce problème. Ceci est par le fait de la présence des contraintes dues aux intempéries dont le vent de sable, les gradients de température entre les différentes saisons et celle entre la nuit et le jour pour la saison hivernale. A cet effet, nous avons penser de contourner le problème par une autre solution à savoir l'exploitation des potentiels énergétiques renouvelables.

L'exploitation des énergies solaire et éolienne pour la production de l'électricité représente un intérêt non négligeable pour les pays sous développé dont l'Algérie. Ce dans les régions isolées. Ainsi dans notre travail nous avons choisi une maison d'une petite famille. Cette maison est implantée sur le site de Ghardaia. Pour son alimentation nous proposons d'utiliser un systèmes hybride constitué d'un champ de panneau photovoltaïque et d'aérogénérateurs.

Le dimensionnement de ce système dépend d'une part des potentiels énergétiques disponibles sur le site et de la charge électrique de la maison. Ainsi nous avons calculé cette charge dont nous avons considéré qu'elle dépend bien sur de la consommation électrique de chaque appareil, et de la variation saisonnière du nombre d'heure de consommation. Par ailleurs, nous avons déterminer les performances des deux systèmes moyennant les modèles [1] et [2]. Un dimensionnement du système a été fait à savoir la détermination du nombre de panneaux photovoltaïque, du nombre d'éoliennes et du nombre de batteries nécessaires pour chaque mois.

2. ASPECT THEORIQUE DE LA MODELISATION

2.1. Le générateur photovoltaïque

Le modèle que nous avons utilisé pour la détermination de l'énergie délivrée par un module photovoltaïque est celui de Singer et al [1]. Dans ce modèle, une méthodologie simple a été développée pour la détermination des caractéristiques d'une cellule ou d'un panneau photovoltaïque. Le courant et la tension de fonctionnement optimal sont données par les relations (1) et (2) :

$$V = V_{oc} \left[1 + \frac{1}{20.7} \ln \left(\frac{I_{sc} - I}{I_{sc}} \right) \right] - R_s I_s \quad (1)$$

$$I = I_{sc} \left[1 - 10^{-9} \exp \left(\frac{20.7}{V_{oc}} (V + IR_s) \right) \right] \quad (2)$$

$$\frac{P_m}{I_m} = V_{oc} \left[1 + \frac{1}{20.7} \ln \left[\frac{I_{sc} - I_m}{I_{sc}} \right] \right] - R_s I_m \quad (3)$$

$$I_m \left[1 + \frac{1}{20.7} \left(\frac{I_m}{I_{sc} - I_m} + \ln \frac{I_{sc} - I_m}{I_{sc}} \right) \right] - \frac{2P_m}{V_{oc}} = 0 \quad (4)$$

$$I_{sc}(Q, T) = I_{sc}^{st} Q (1 + \alpha \Delta T) \quad (5)$$

$$V_{oc}(Q, T) = V_{oc}^{st} (1 - \gamma \Delta T) \ln(1 + \beta \Delta Q) \quad (6)$$

Dans ces relations V, V_{oc}, V_{oc}^{st} et $V_{oc}(Q, T)$ sont respectivement la tension aux bornes de la cellule/du module ou champ photovoltaïque, la tension du circuit ouvert, la tension du circuit ouvert aux conditions standards de température T^{st} et de l'éclairement Q^{st} et la tension du circuit ouvert aux conditions réelles de fonctionnement du système T, Q .

I et I_m sont respectivement le courant de fonctionnement et le courant maximal délivré par la cellule /le module ou le champ photovoltaïque.

I_{sc}, I_{sc}^{st} et $I_{sc}(Q, T)$ sont respectivement les courants de court circuit délivrés par la cellule /le module ou le champ photovoltaïque aux conditions optimales, standards T^{st}, Q^{st} et normales T, Q . P_m et P^{st} sont respectivement la puissance optimale et la puissance aux conditions standards délivrées par la cellule /le module ou le champ photovoltaïque .

$$\Delta T = T - T^{st}$$

$$\Delta Q = Q - Q^{st}$$

R_s est la résistance série.

Les valeurs standards de température et de l'éclairement sont $T^{st}=25^\circ\text{C}$ et $Q^{st}= 1000\text{W/m}^2$;

$\alpha = .0025$: Coefficient caractérisant la variation du courant / température ($\text{A}/^\circ\text{C}$) ;

$\beta = 0.51$: Coefficient caractérisant la variation de l'éclairement

($1/^\circ 1000\text{W}$) ; $\gamma = 0.00288$ Coefficient caractérisant la variation de la tension ($\text{V}/^\circ\text{C}$)

et $\Delta T = T - T^{st}$, $\Delta Q = Q - Q^{st}$,

Les caractéristiques de fonctionnement d'un panneau photovoltaïque sont déterminées comme suit :

Connaissant la température ambiante T du milieu d'implantation ainsi que l'éclairement global Q incident sur le champ photovoltaïque et connaissant ces caractéristiques dans les conditions standard (Courant de court circuit I_{sc}^{st} , tension en court circuit V_{oc}^{st} et la puissance maximale P_m^{st} , à partir des relations (5), (6) et (7) nous calculons respectivement le courant de court circuit $I_{sc}(Q, T)$, la tension en circuit ouvert $V_{oc}(Q, T)$ et la puissance maximale $P_m(Q, T)$.

La détermination du courant au point de fonctionnement maximal est déterminé par la résolution numérique de l'équation (4). Par ailleurs la résistance série R_s du panneau photovoltaïque est calculée par la relation (3). Ainsi connaissant ces paramètres, nous déterminons les caractéristiques principales (I, V) .

Nous donnons sur la figure (1) les caractéristiques électriques (I, V) et (P, V) relatives à un panneau photovoltaïque dont les caractéristiques électrique et géométriques sont données comme suit :

<u>Caractéristiques électriques</u>		<u>Caractéristiques géométriques</u>	
Im Courant optimum	2.9 A	Surface totale du module	426 m2
Tension optimale	17.5 V	Surface active	.378 m2
Pm st puissance maximale	51 W	Facteur de remplissage	.887
Voc st Tension de circuit ouvert	21.8 V	Nombre de cellules	36
Isc st courant de court circuit	3.2 A	Dimension de la Cellule	100x100 mm2
Rendement de conversion		11.3 %	

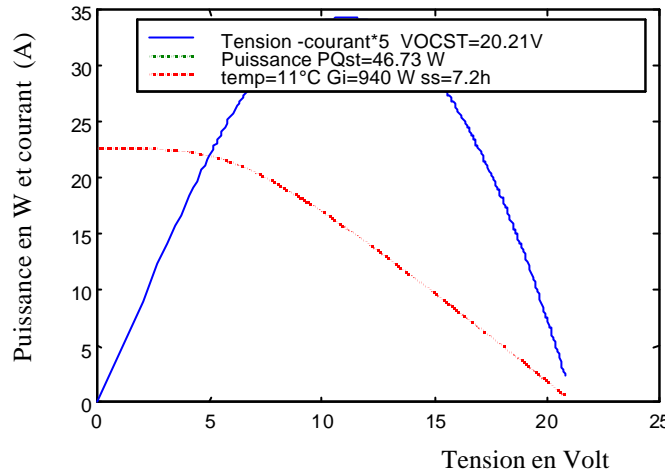


Fig. 1: Caractéristique du panneau photovoltaïque UDTs

2.2. Le générateur éolien

Le modèle analytique utilisée dans notre travail pour déterminer la puissance délivrée par un aérogénérateur est celui développé par B.F.Bell et al [2]. Cette puissance dépend fondamentalement des caractéristiques mécaniques de l'aérogénérateur, des limites de fonctionnement du système et du potentiel éolien disponible au niveau du site considéré. Elle est donnée par les relations suivantes :

$$\begin{aligned}
 P(V) &= 0 \quad \text{pour } V < V_{ci} \quad P(V) = 0 \quad \text{pour } V > V_{co} \\
 P(v) &= \frac{C_{pm}Pr}{C_{pr}V_R} \left[v^3(1 - A + B) + v^2 V_m(2A - 3B) + v V_m(3B - A) - V_m^3 B \right] \quad \text{pour } v \leq V \leq V_R \quad (7) \\
 P(v) &= Pr \left(\frac{V_R}{v} \right)^{5.23} \quad \text{pour } V_R < V \leq V_{co}
 \end{aligned}$$

Ainsi Connaissant les caractéristiques d'un aérogénérateur à savoir la puissance de sortie du rotor Ps, le coefficient de puissance maximale Cpm, le diamètre du rotor D, la vitesse de démarrage Vci, la vitesse de la mise en drapeau Vco, la vitesse synchronique du rotor

$$\frac{C_p(V_{ci})}{C_{pm}} = 1 - A \left(\frac{V_m}{V_{ci}} - 1 \right) - B \left(\frac{V_m}{V_{ci}} \right)^3 \quad (9)$$

$$\frac{C_{pr}}{C_{pm}} = A \left(\frac{V_m}{V_r} - 1 \right)^2 - B \left(\frac{V_m}{V_r} \right)^3 \quad (10)$$

Cela permettra de calculer les coefficients A et B à partir du système d'équation suivant le fonctionnement d'une éolienne est défini par sa courbe de puissance. Cette courbe permet de quantifier la puissance que peut fournir un générateur éolien pour chaque vitesse du vent. Nous donnons dans la figure (2) la courbe de puissance (P,V) d'un aérogénérateur du type Darius VAWT dont les caractéristiques sont: Ps=3kW, Pr=3530W,

$A_s=27.8m^2$, $\zeta_s=10.2(rd/s)$, $D=6.5m$, $V_{CI}=4m/s$, $V_R=27m/s$, $V_{CO}=35m/s$. Les rendements respectives du multiplicateur de vitesse et de la génératrice sont de 85% et 80%.

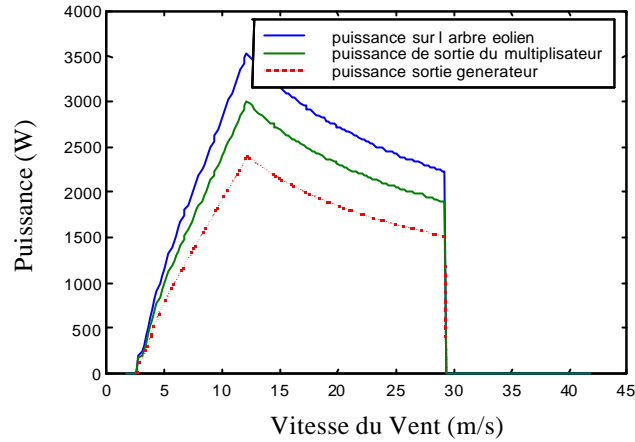


Fig. 2 : Caractéristique de l'aérogénérateur

3. CALCUL DES CHARGES

3.1. Le site d'implantation

Le site que nous avons choisi est le site de Ghardaia (Latitude =32.4N Longitude=3.80 E Altitude = 468.5 m . Nous avons choisi ce site pour des raisons de disponibilité des données météorologiques et d'information concernant les charges thermiques de maisons types [5].

L'évolution annuelle des caractéristiques climatiques du site est donnée sur la figure (3).

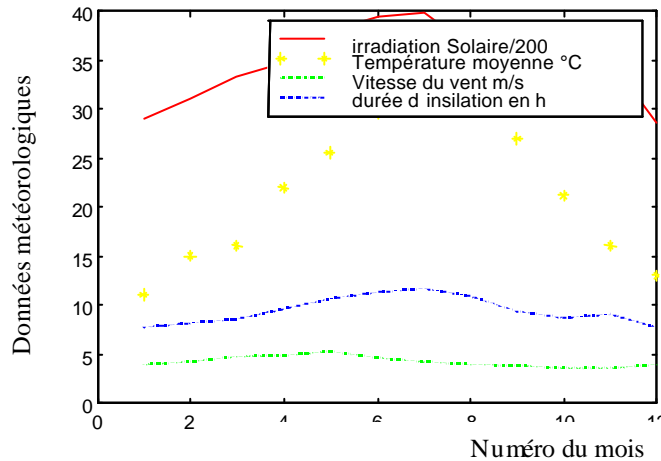


Fig. 3 : Caractéristiques climatiques du site de Ghardaia

3.2. Répertoires des équipements

La maison que nous avons considérée dans ce travail est une maison relative à une petite famille . elle est constituée par deux chambres , un salon, une cuisine, une salle de bain , un couloir. Pour l'éclairage de l'ensemble des chambres de cette maison nous nous proposons d'utiliser des réglottes à fluorescence de 11W. Ceci pour leur faible consommation et leur grande luminosité. Comme électroménager, nous considérons que dans la maison n'existent que quelques appareils de base à savoir, un téléviseur couleur , un ventilateur , un magnétophone et un réfrigérateur .[4].

Tableau 1 : Répartition des équipements et leur consommation

Charges électriques	Puissance nominale(W)
Chambre d'adultes	11
Chambre d'enfants	11
Salon	22
Couloir	22
Cuisine	11
Salle de bain	11
WC	11
Téléviseur	385
Magnétophone	60
Ventilateur	75
Réfrigérateur	360

3.3. Détermination de la consommation énergétique

La valeur du nombre d'heures de consommation est déterminée en fonction de l'heure du lever et du coucher du soleil . Cette consommation varie d'une saison a une autre. Ainsi, le nombre d'heure d'éclairage dépend des heures du lever et du coucher des membres de la famille . pour les électroménagers, dont le réfrigérateur, le nombre d'heures de fonctionnement du compresseur dépend de la température du milieu environnante. Pour cette raison nous supposons que durant la période hivernale (Octobre-Avril) le compresseur ne fonctionne que 8h/24h et durant la période estivale celui-ci fonctionne 12h/24h . Quant au ventilateur, il n'est sollicité que durant la période chaude (Mai – Septembre), ainsi nous supposons qu'il sera fonctionnel 2 fois le nombre d'heure de consommation pendant la période estivale .

Par ailleurs, nous supposons que le lever et le coucher respectif des occupants de cette maison s'effectuent en moyenne à 7h du matin et à 23h le soir . Sur la figure (4) nous présentons les diagrammes relatifs au lever et au coucher du soleil en heure locale . Sur ce diagramme nous constatons que ces paramètres varient d'une saison à l'autre . Ainsi connaissant les heures de lever et du coucher de la famille, nous pouvons déterminer facilement le nombre d'heures de consommation relatif à l'éclairage d'une maison quelconque sur le lieu considéré. Il est à noter que le passage respectif des heures du lever et du coucher théoriques en heures locales, se fait moyennant plusieurs corrections dont, Correction dû au décalage horaire par rapport au temps universel, Correction dû au décalage du faisceau de longitude du lieu (3 minutes par degrés)et Correction dû à la variation saisonnière de l'équation du temps.

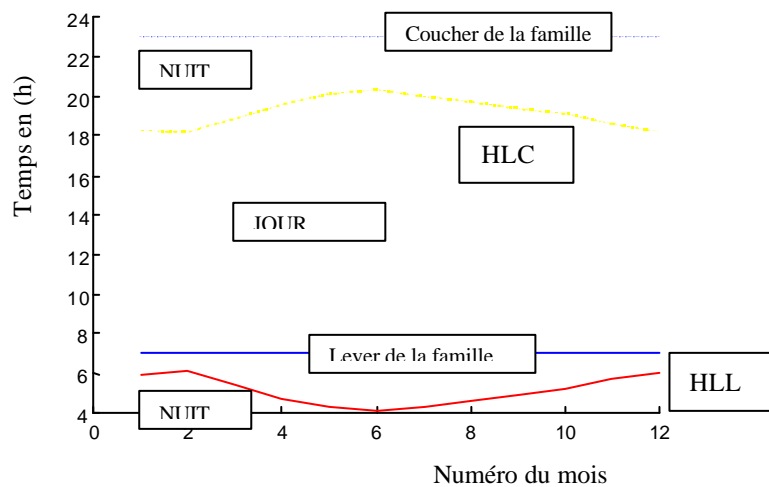


Fig. 4 : Diagramme de calcul du nombre d'heure de consommation

Concernant la climatisation un travail relatif au site de Ghardaia a été développé en ce sens par Hans Rosenlund [5]. La consommation moyenne par jours pour assurer la climatisation d'une maison moderne

implantée sur le site de Ghardaia avec une isolation de la toiture et avec une régulation de température de 18-24 degrés revient à 18 Kwh/jours pour le mois de juillet, et de 0 Wh/jours pour le mois de Janvier. Ceci peut être confirmé par la figure (3). Dans cette figure nous constatons que la température extérieure moyenne est comprise entre 11 et 16 °C pour la période hivernale, de 21 à 25.5 °C pour les périodes d'automne et de printemps. Ainsi avec une bonne isolation thermique de la maison, nous pourrions maintenir facilement la températures intérieure dans la plage exigées par la régulation. Par contre pour la période estivale, la température extérieure est comprise entre 25.5 et 33°C. Ainsi celle ci nous conduit à prévoir une climatisation ou au moins une ventilation de la maison pour assurer le confort des occupants de cette maison. Nous présentons respectivement sur les figures (5) et (6) l'évolution de la consommation sans tenir compte de la climatisation et en tenant compte de cette dernière.

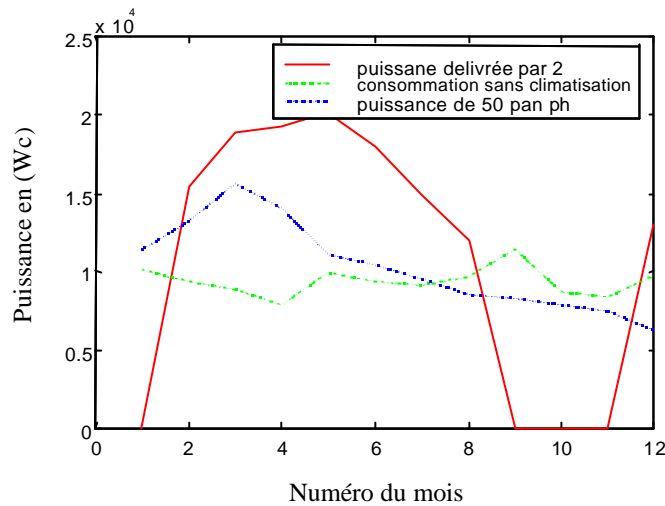


Fig. 5 : Distribution de la charge et des puissances produites (Sans climatisation)

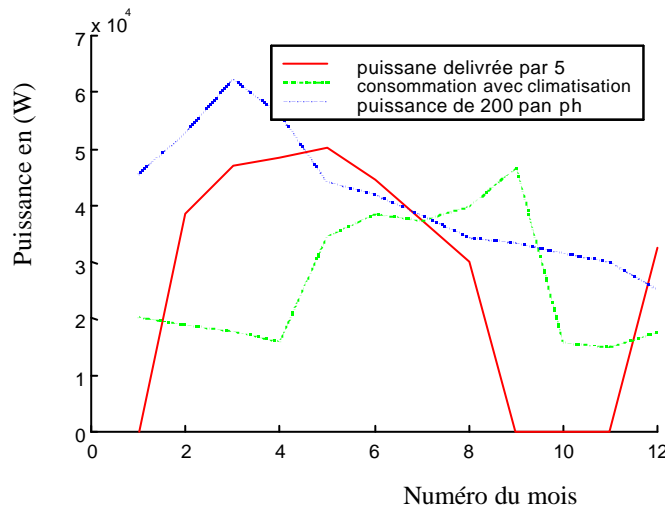


Fig. 6: Distribution de la charge et des puissances produites (avec climatisation)

4. DIMENSIONNEMENT DU SYSTEME

Pour le calcul des besoins d'électricité nous avons utilisé la méthode développée par Michel Rodot et al [6]. Dans notre travail nous avons pris comme caractéristiques :

- Rendement des accumulateurs =85% ;
- Tension nominale des accumulateurs = 12V ;
- Décharge maximale des accumulateurs =50% ;
- Nombre de jours de stockage =3 jours ;
- Le rendement du générateur photovoltaïque =11.3%.

Ainsi nous donnons respectivement sur le tableau 2 les prévisions des dimensions des capacités de stockage et de la charge qui nous permettra de dimensionner notre système de stockage, du nombre de panneau photovoltaïque et du nombre d'aérogénérateur nécessaires sans et avec climatisation.

Tableau 2 : Dimensionnement du système avec et sans climatisation

Numéro du mois	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Nombre de batteries	30	29	29	29	40	40	41	40	40	29	29	29
Nombre de panneaux Sans climatisation	36	29	29	28	45	45	48	57	58	55	56	78
Nombre de batterie	30	29	29	29	125	125	125	124	124	29	29	29
Nombre de panneaux avec climatisation	36	29	29	29	110	138	147	174	211	55	56	78

5. DISCUSSION DES RESULTATS

Les résultats obtenus sont présentés sur la figure (5) dont la moyenne par jours de la charge de notre maison, les puissances électriques moyennes par jour délivrées par 2 éoliennes et par 50 panneaux photovoltaïques pour la couverture de cette charge. Sur cette figure nous constatons que la charge présente une évolution quasi - stable avec présence de quelques faibles fluctuations. Ces dernières sont dues à notre sens à la variations saisonnières du nombre d'heures de consommation . les deux pics présentés sur ce diagramme sont relatif à la période chaude là où nous avons prévu une ventilation. Dans cet intervalle le tronçon de la courbe de la charge présente une légère diminution suivie d'une légère augmentation. Ceci est lié toujours à notre sens à la variation du nombre d'heure de consommation qui suit quant à lui la même évolution.

Concernant la couverture éolienne, nous constatons que la puissance délivré par l'aérogénérateur est nulle pour la période Septembre – Février. Et ceci par le faite que la vitesse du vent est inférieure à la vitesse de son démarrage (Voir figure (3)). Pour le reste elle permet de couvrir facilement les besoins. Par contre, la puissance délivrée par le champ photovoltaïque, permet de couvrir la totalité des besoins durant la période Janvier – Juillet. Mais elle présente un faible déficit durant les mois restants. Ceci s'explique à notre sens par le fait que durant la période Juillet – Septembre la température ambiante est élevée ce qui influe considérablement sur le rendement du champ photovoltaïque [1]. Pour la période Octobre – Décembre l'irradiation globale incidente sur le champ photovoltaïque est relativement faible. Ceci a des conséquences directes sur la puissance délivrée par le champ photovoltaïque. En tenant compte de la climatisation à part que l'ordre de grandeur des valeurs est plus important, les mêmes remarques restent valables pour le cas des évolutions de la moyenne mensuelle par jour de la charge et des énergies fournies par les dites installations.

6. CONCLUSION

Ce travail nous a permis d'examiner la possibilité d'alimenter une maison moyenne par un générateur hybride (solaire, éolien). Ainsi à partir des résultats aux quels nous avons abouti nous pouvons conclure que le jumelage des deux systèmes n'est pas nécessaire car les deux systèmes permettent de couvrir les besoins durant les mêmes période et présentent les mêmes déficits. Ce qui est lié directement aux potentiels énergétique solaire et éolien et aux caractéristiques climatiques du site de Ghardaia dont la température qui influe considérablement sur les performances du Système. Par ailleurs, vu le prix de revient des installations et le prix de maintenance et de la régulation que présente les aérogénérateurs nous proposons d'utiliser simplement un champ de 60 panneaux photovoltaïques (Panneaux UDTS) avec 40 batteries de stockages (Batterie ENEPEL de tension optimale de 12V et de capacité d'accumulation de 150 Ah). Ce qui permet au système d'avoir une autonomie de 3 Jours. Si nous prévoyons la climatisation, notre installation nécessite au moins 220 panneaux photovoltaïques et au moins 125 batterie d'une capacité de stockage de 150 Ah . Ce qui constitue un investissement fastidieux .

ainsi pour assurer le confort des occupants de cette maison, il est préférable de maintenir la ventilation et de prévoir un système d'humidification ce qui pourra résoudre ce problème sans avoir recours au climatiseur conventionnel. Enfin nous considérons que ce travail est un travail d'ébauche et nous souhaiterons que dans l'avenir nous pourrions apporter plus d'affinité à ce travail. Ainsi nous souhaiterons de faire le bilan thermique de la maison ainsi que de déterminer avec plus de précision les besoins électriques d'une telle maison.

NOMENCLATURE

I_m : Courant optimum	Q : éclairage global incident sur le champ photovoltaïque
P_m^* : puissance maximale	P_s : puissance de sortie du rotor
V_{oc}^* : tension de court circuit	C_{pm} : coefficient de puissance maximale
I_{sc}^* : courant de court circuit	D : diamètre du rotor
R_s : résistance série	V_{ci} : vitesse de démarrage
T : température ambiante	V_{co} : vitesse de la mise en drapeau
V_r : vitesse de fonctionnement	Ω_s : vitesse synchronique du rotor
β : coefficient caractérisant la variation de l'éclairage	
α : coefficient caractérisant la variation du courant / à la température	
γ : coefficient caractérisant la variation de la tension / à la température	

REFERENCES

- [1] S. singer, B.Rozenshtein and S. Surazi, "Characterization of PV. Array Output Using a Small Number of Measured Parameters.", Solar Energy Vol .32, N° 5, PP.603-607,1984.
- [2] Benjamin F. Bell and Jon G. Mccowan "An Analytical Study of Hybrid Wind Passive Solar System", Solar Energy, Vol.32 , N°3,PP. 405-415,1984
- [3] S. Diaf, "Expérimentation d'un Système de Pompage Photovoltaïque sur un Site Saharien", CDER Rapport Interne Novembre 1994.
- [4] M. Rodot et A. Benallou, "Electricité Solaire au Service du Développement Rural.", Edition et diffusion Quadrichromie, Décembre 1987.
- [5] H. Rosenlund, "Desert Buildings. A parametric Study on Passive Climatisation", Thesis 3, Department of Architecture and Development Studies, Lund University, Sweden, 1993.
- [6] M.Boumehrat et A.Gourdin, "Méthodes Numériques Appliquées.".OPU, Alger N°81/OF/1183/, 1993
- [7] T. Hamek et M. Chikh "Etude d'un Système Hybride Eolien Photovoltaïque", Mémoire de fin d'étude, Université de Blida, Juin 1991.