

Système éolien pour l'alimentation d'une charge à usage domestique

D. Saheb Koussa, M. Belhamel et B. Kazed

Centre de Développement des Energies Renouvelables
B.P. 62, Route de l'Observatoire, Bouzaréah, Alger

(reçu le 30 Octobre 2006 – accepté le 25 Mars 2007)

Résumé – Afin de trouver une source d'énergie qui permettra de remplacer les sources d'énergies conventionnelles, les secteurs concernés ont eu recours aux différentes ressources dont l'énergie solaire, l'énergie éolienne, l'hydrogène, etc. L'utilisation de l'énergie éolienne se justifie non seulement au point de vue environnemental, mais également au point de vue économique. Ainsi, l'installation de systèmes éoliens de forte puissance permet de réduire la dépendance des communautés isolées qui sont souvent alimentées en électricité par des génératrices diesel, qui sont coûteuses et produisent des gaz à effet de serre. A cet effet, dans notre travail nous avons choisi un système éolien destiné à alimenter une charge à usage domestique située sur différentes zones climatiques algériennes et pouvoir satisfaire aux besoins avec une certaine garantie en matière d'autonomie.

Abstract - In order to find a source of energy which will make it possible to replace the sources of conventional energies, the sectors concerned had recourse to the various resources like solar energy, wind energy, hydrogen, etc. The use of the wind energy is justified not only from the environmental point of view, but also from the economic point of view. The installation of wind systems of strong power makes it possible to reduce the dependence of the isolated communities, which are often fed in electricity by generators diesel, which are expensive and produce gases of greenhouse effect. For this purpose, in our work we chose a wind system intended to feed a domestic load located on various Algerian climatic zones and to be able to satisfy the needs with a certain guarantee as regards to autonomy.

Mots clés: Système éolien - Modélisation - Autonomie - Production d'électricité - Charge.

1. INTRODUCTION

Etant donné l'épuisement des sources d'énergies conventionnelles et les pressions croissantes qui s'exercent sur les pays du monde entier pour qu'ils réduisent leurs émissions de gaz à effet de serre. Il n'est pas surprenant de voir les autorités publiques s'intéresser aux sources d'énergies renouvelables. L'énergie éolienne attire particulièrement leur attention et est en passe de devenir la source d'électricité dont la croissance sera la plus rapide.

A cet effet, dans notre travail, nous avons choisi un système éolien pour la production d'électricité et qui s'avère être rentable dans les régions isolées et ventées. Ainsi, ce système serait destiné à alimenter une charge à usage domestique et pouvoir satisfaire aux besoins avec une certaine garantie en matière d'autonomie.

Nous présentons dans les parties qui suivent la modélisation de ce système et l'évaluation des besoins énergétiques de la maison type. Ensuite, nous analysons la couverture de ces besoins pour sept types d'aérogénérateurs différents.

2. MODELISATION DU SYSTEME EOLIEN

Le calcul des performances d'un aérogénérateur opérant sur un site donné, passe avant tout par la mise en équation de la variation du potentiel énergétique caractérisé par sa vitesse. Parmi les modèles mathématiques utilisés en énergie éolienne, le modèle statistique de la distribution de Weibull [1-4] s'avère le plus approprié pour la description de la variation de la vitesse du vent.

Ce modèle est défini principalement par la fonction de répartition qui s'écrit:

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

Cette fonction est caractérisée par deux paramètres: le facteur d'échelle c [m/s] et le facteur de forme k adimensionnel. Le facteur k et la vitesse du vent sont généralement obtenus auprès de l'Office National de la Météorologie [1]. Le facteur d'échelle peut être calculé par la formule suivante:

$$c = \frac{v}{\Gamma \left(1 + \frac{1}{k} \right)} \quad (2)$$

Ainsi, la puissance moyenne produite par un aérogénérateur est estimée par la relation suivante:

$$P = \int_{V_{in}}^{V_{out}} P(v) f(v) dv \quad (3)$$

où $f(v)$, densité de probabilité est la dérivée de l'équation (1) par rapport à la vitesse moyenne du vent v :

$$f(v) = \left(\frac{k}{c} \right) \left(\frac{v}{c} \right)^{k-1} \exp \left[- \left(\frac{v}{c} \right)^k \right] \quad (4)$$

Ainsi, connaissant les caractéristiques de l'aérogénérateur choisi, la moyenne mensuelle par jour de la vitesse du vent et la densité de probabilité correspondante, nous pouvons déduire rapidement la puissance produite par l'aérogénérateur.

Un programme sous Matlab/Simulink [10] a été établi dont nous donnons un schéma synoptique représenté sur la figure 1. Dans ce programme, les données d'entrée sont: les valeurs moyennes des vitesses du vent, des coefficients k et du paramètre c pour chacun des sites. Ces données seront traitées dans le block désigné par Subsystem (1) dont nous pourrions afficher à tout moment la densité de probabilité correspondante aux valeurs introduites. Une fois la densité obtenue, elle sera transmise au Subsystem (2) qui nous donnera à sa sortie la puissance produite par l'aérogénérateur choisi.

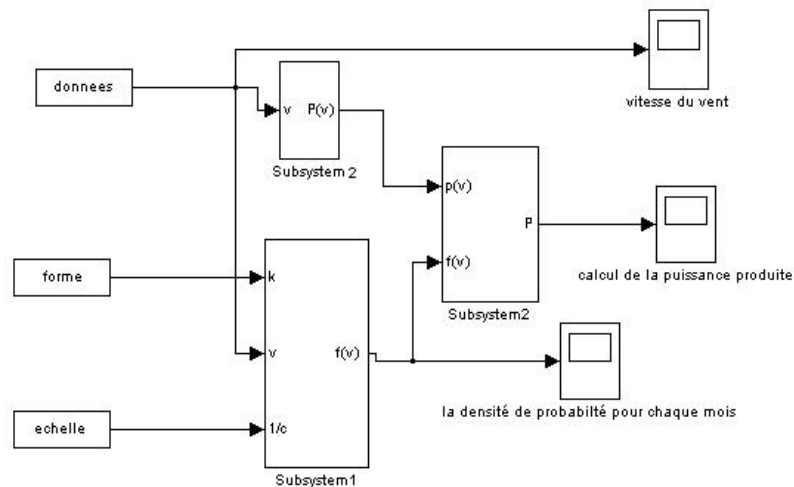


Fig. 1: Modélisation du système de production éolienne sous simulink

Ainsi, moyennant les moyennes mensuelles par jour de la vitesse du vent et en tenant compte des rendements mécanique et électrique respectifs au multiplicateur de vitesse et à la génératrice, nous avons présenté sur la figures ci-dessous les différentes courbes de puissance, obtenues à la sortie de chacune des composantes du système, pour le site de Bouzaréah.

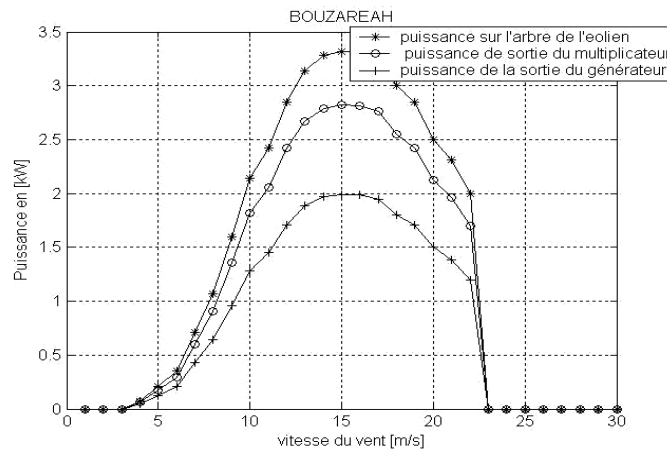


Fig. 2: Caractéristique de l'aérogénérateur Whisper 175

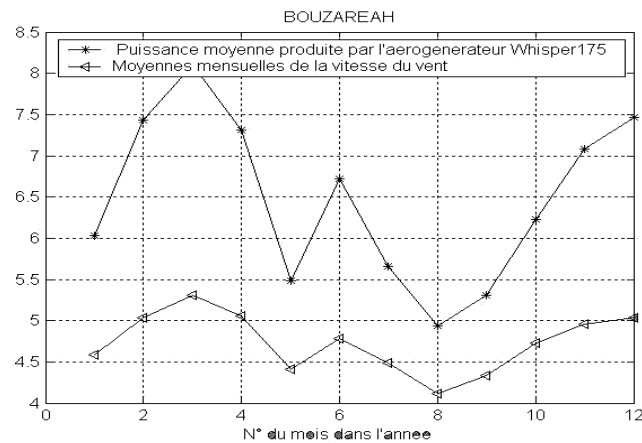
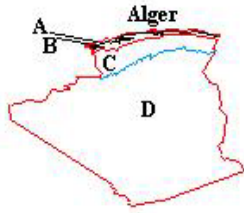


Fig. 3: Variation des moyennes mensuelles par jour de la puissance produite et de la vitesse du vent

3. LES SITES D'IMPLANTATIONS

Bien que le potentiel éolien dépend fortement de la zone climatique à laquelle il appartient et de son relief, nous avons pensé choisir des sites qui appartiennent aux différentes zones climatiques algériennes [9]. Ces derniers représentent diverses zones climatiques algériennes à savoir:

- le site de Bouzaréah sur la zone A, zone comprenant le rivage de la mer et une partie du versant Nord des chaînes côtières,
- le site de Batna et El Oued (proche) sur la zone C, qui comprend les Hauts Plateaux situés entre l'Atlas Tellien et l'Atlas Saharien,
- Le site Ghardaïa, Adrar, Tamanrasset sur la zone D, qui comprend le Sahara, au delà de l'Atlas Saharien.



Caractéristiques climatiques moyennes suivant les zones	Température minimale quotidienne	Température moyenne quotidienne	Température extérieure de base
Zone A			
Au-dessous de 500 m	5	12	6
Zone B			
De 500 à 1000m	4	8	4
Zone C			
De 500 à 1000 m	2	7	5
Au-dessous de 1000m	0	5	5
Zone D			
Au-dessous de 500 m	4	10	6
De 500 à 1000 m	2	4	5
Au-dessus de 1000 m	0	5	5

Fig. 4: Zones climatiques Algériennes

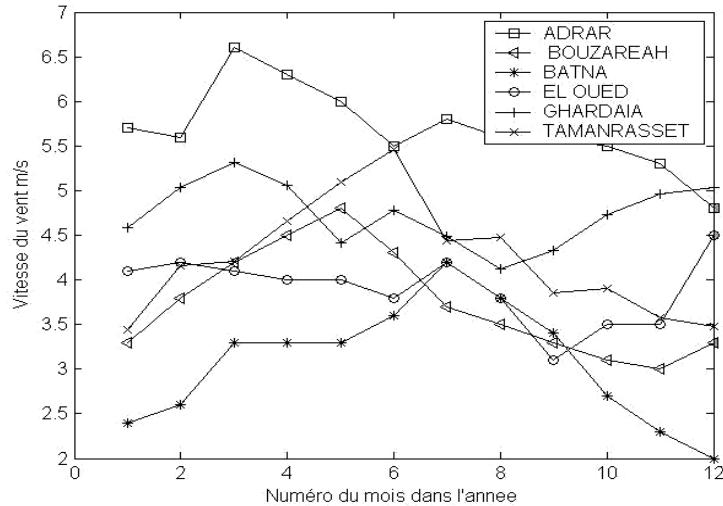


Fig. 5: Variation de la moyenne mensuelle de la vitesse du vent pour chacun des sites

4. CARACTERISTIQUES DE LA MAISON CHOISIE

Dans notre étude, nous avons choisi une maison type non raccordé au réseau de distribution d'énergie classique et équipée de l'ensemble des appareils électroménagers permettant de fournir le confort aux occupants. Par ailleurs, dans notre cas nous supposons que l'habitation sera occupée en permanence durant toute l'année et que les équipements domestiques fonctionnent sous une tension standard 220V-50Hz (tension secteur).

Les caractéristiques de la maison choisie sont données ci-dessous [6, 7]:

Maison individuelle,

Nombre de pièces: 03 pièces, cuisine et salle de bains, couloir,

Équipements électroménagers: réfrigérateur, cuisinière, lave-linge, téléviseur couleur; chaîne Hi-Fi; mixeur; ventilateur.

4.1. Détermination de la consommation énergétique

Dans notre cas, pour le calcul de la consommation énergétique, nous avons considéré les hypothèses suivantes:

4.1.1 Eclairage

Les heures du lever et du coucher du soleil sont calculées par les relations suivantes:

$$h_L = -\frac{1}{15} [a \cos(-\text{tg } \varphi \times \text{tg } \delta)] + 12 \quad (5)$$

$$h_C = \frac{1}{15} [a \cos(-\text{tg } \varphi \times \text{tg } \delta)] + 12 \quad (6)$$

Les valeurs du lever et du coucher du soleil ont été corrigées pour qu'elles soient en heures locales [5, 8, 11]. Concernant, l'heure du lever et du coucher de la famille est supposée respectivement à 7 heures et à 23 heures. Nous présentons sur les figures ci-dessous les diagrammes relatifs au lever et au coucher du soleil en heure locale pour chacun des sites considérés. Sur ces diagrammes, nous constatons que ces paramètres varient d'une saison à l'autre. Ainsi, connaissant les heures du lever et du coucher de la famille, nous pouvons déterminer facilement le nombre d'heures de consommation relatif à l'éclairage de cette maison.

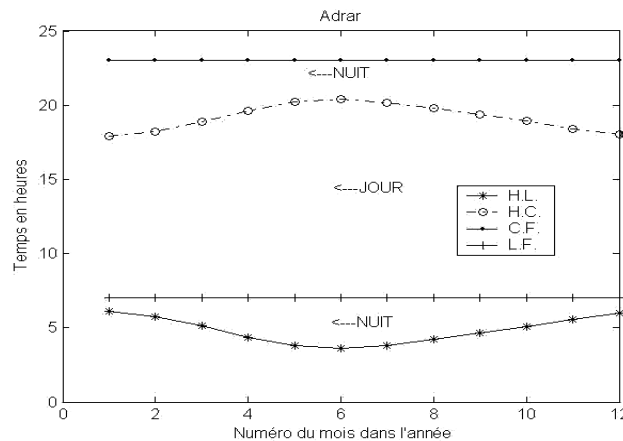


Fig. 6: Diagramme de calcul du nombre d'heure de consommation (site Adrar)

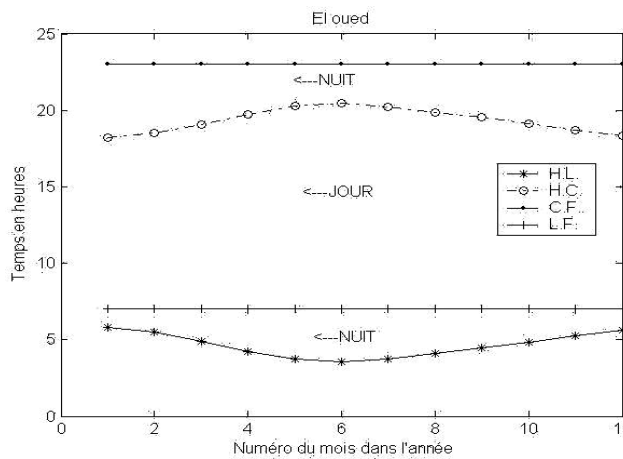


Fig. 7: Diagramme de calcul du nombre d'heure de consommation (site El Oued)

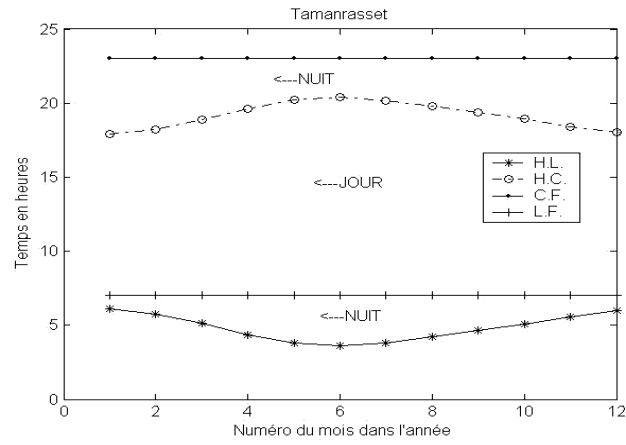


Fig. 8: Diagramme de calcul du nombre d'heure de consommation (site Tamanrasset)

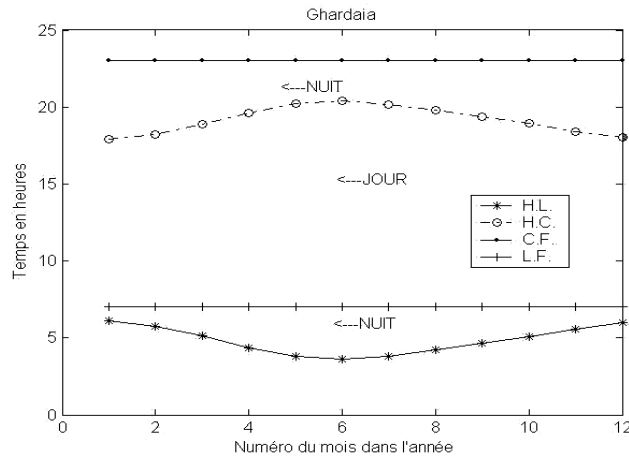


Fig. 9: Diagramme de calcul du nombre d'heure de consommation (site Ghardaïa)

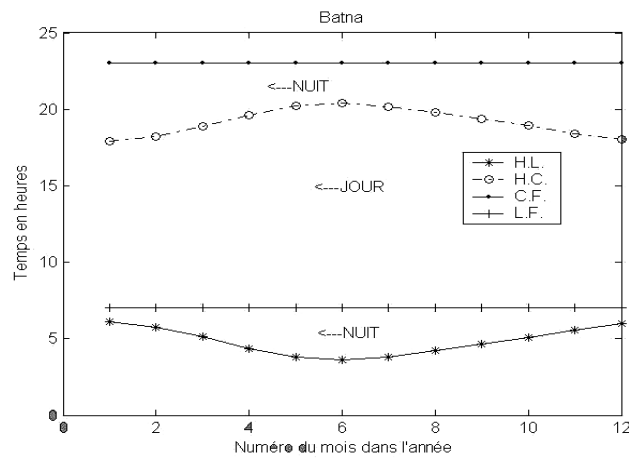


Fig. 10: Diagramme de calcul du nombre d'heure de consommation (site Batna)

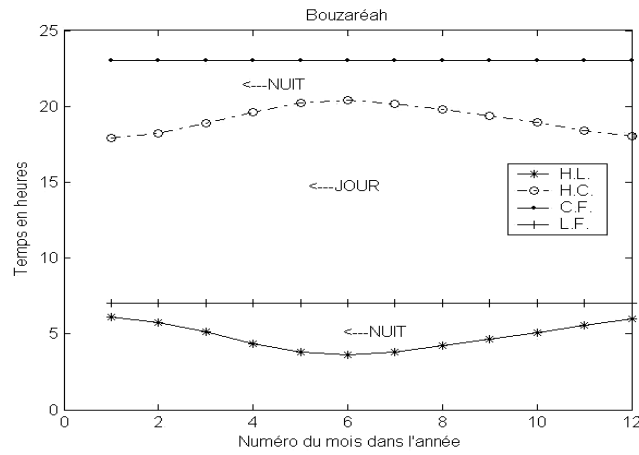


Fig. 11: Diagramme de calcul du nombre d'heure de consommation (site Bouzaréah)

4.1.2 Le réfrigérateur

Le nombre d'heures de fonctionnement dépend de la température ambiante qui varie d'une saison à une autre et dépend de la situation géographique du site considéré. Ainsi, dans notre cas, nous supposons qu'il fonctionne 8h/24h durant la période hivernale et 12h/24h durant la période estivale.

4.1.3 Le ventilateur

Nous supposons qu'il n'est sollicité que durant la période estivale (mai –septembre) avec une moyenne horaire de 4h/j.

4.2 Bilan énergétique

Sur le Tableau 1, nous présentons l'estimation des besoins énergétiques journaliers en Wh/j.

Tableau 1: Estimation des besoins énergétiques journaliers

	Puissance (W)	Durée d'utilisation (heures)	Consommation journalière (Wh)
Chambre Adultes	11	4	44
Chambre Enfants	22	5	110
Salle de séjour	22	6	132
Couloir	22	2	44
Salle de bain	22	2	44
Toilette	11	1	11
Cuisine	11	7	77
S/total (A)			462
Réfrigérateur	120	8 (hiv.)/12 (été)	960/1440
Téléviseur	75	7	525
Ventilateur	100	4	400
Divers	100	2	200
S/total (B)			2085/2565
Total Ecj =S/total (A)+S/total (B)			2547/3027

5. RESULTATS

5.1 Dimensionnement du système éolien

Pour notre application, notre choix a porté sur sept types d'aérogénérateurs [5], proposés par divers constructeurs à travers le monde. Les aérogénérateurs que nous avons choisis sont présentés sur le tableau ci-dessous.

Tableau 2: Les différents types d'aérogénérateurs utilisés dans le calcul

Constructeur	Type	P_n [kW]	Pays d'origine
Bergey	BWC1000	1	USA
	BWC EXCEL	7.5	
Bornay	INCLIN 6000	6	Espagne
Fortis	MONTANA	4	Pays Bas
Southwest	Whisper 175	3	USA
Windpower			
Vergnet	GEV 5/5	5	France
	GEV 7/10	10	

Pour le calcul de la puissance débitée par chacun des aérogénérateurs et pour chacun des sites, nous avons utilisé la moyenne mensuelle de la vitesse du vent, le facteur de forme k et le facteur d'échelle c , comme paramètres d'entrée. A cet effet, pour des raisons de manque de valeurs de k relatifs aux sites de Ghardaïa, Tamanrasset, Adrar et Batna, nous avons utilisé le modèle de Rayleigh au lieu du modèle de Weibull.

Le modèle de Rayleigh n'est autre que le modèle de Weibull, sauf que le facteur de forme k étant constant et égal à 2. Pour les sites de Bouzaréah [3] et El Oued [4], nous avons utilisé la distribution de Weibull [1].

Ainsi, nous présentons sur les figures ci-dessous, la distribution de la charge et la production énergétique mensuelle de chacun des aérogénérateurs.

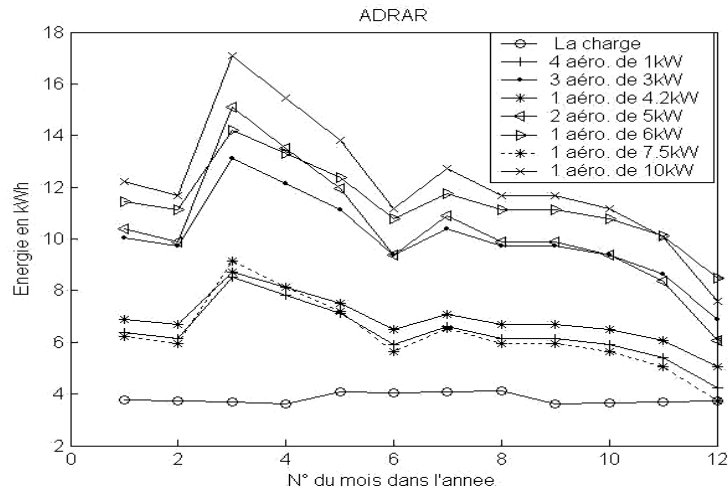


Fig. 12: Distribution de la charge et des puissances produites par les différents aérogénérateurs (site Adrar)

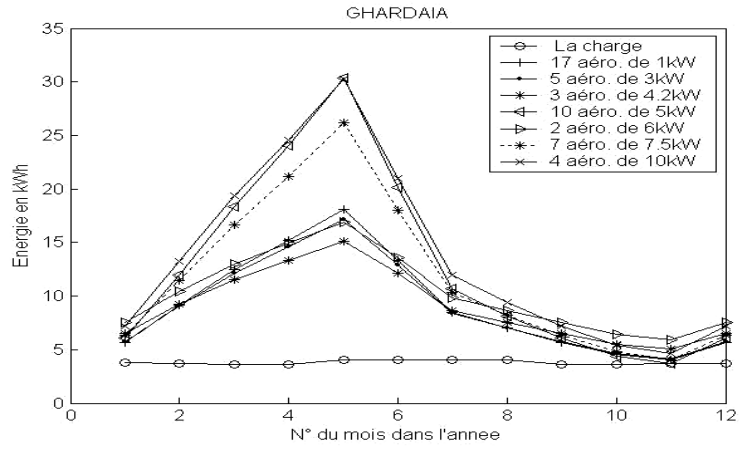


Fig. 13: Distribution de la charge et des puissances produites par les différents aérogénérateurs (site Ghardaia)

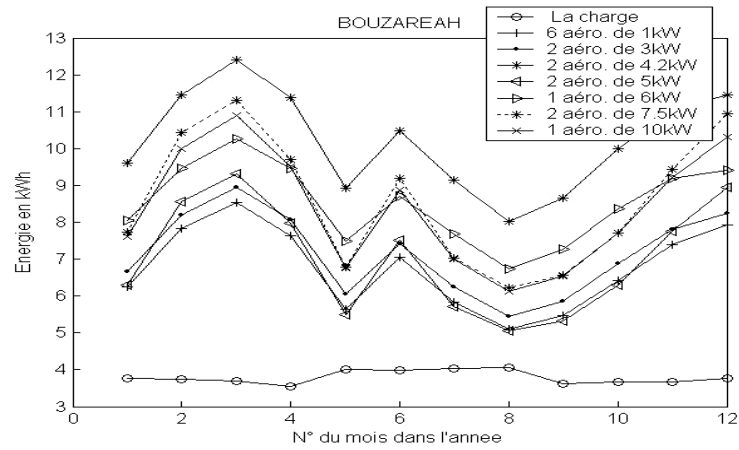


Fig. 14: Distribution de la charge et des puissances produites par les différents aérogénérateurs (site Bouzaréah)

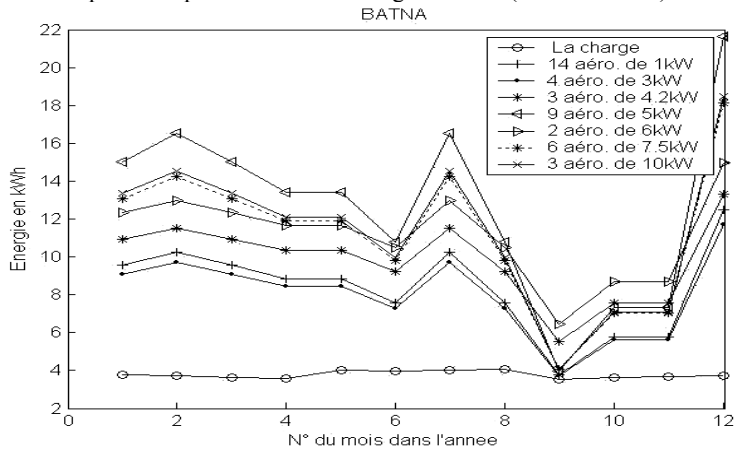


Fig. 15: Distribution de la charge et des puissances produites par les différents aérogénérateurs (site Batna)

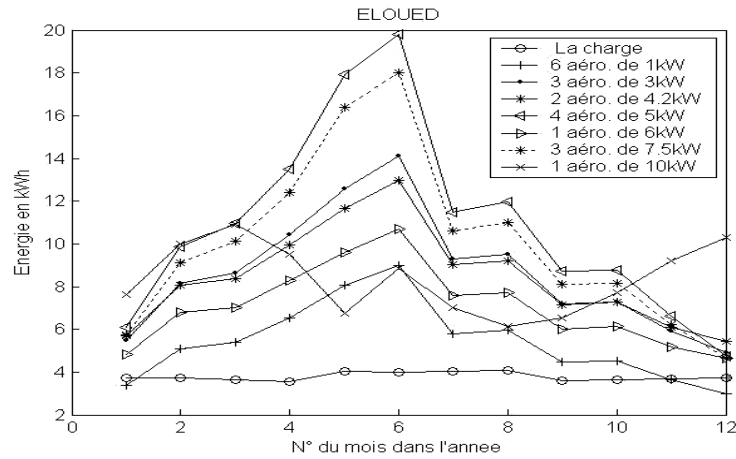


Fig. 16: Distribution de la charge et des puissances produites par les différents aérogénérateurs (site El Oued)

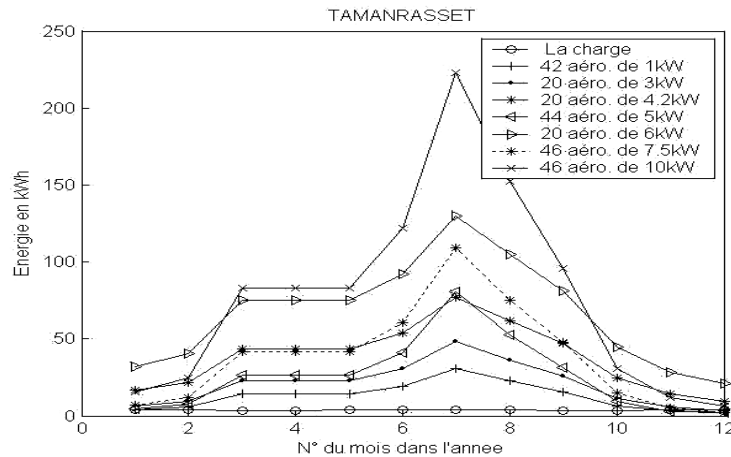


Fig. 17: Distribution de la charge et des puissances produites par les différents aérogénérateurs (site Tamanrasset)

Les figures ci-dessus représentent la production énergétique mensuelle des sept aérogénérateurs et la distribution mensuelle de la charge. A partir de ces figures, nous constatons que la charge présente une évolution quasi-stable avec présence de quelques faibles fluctuations. Ces dernières sont dues à la variation saisonnière du nombre d'heures de consommations relative à chacun des équipements. Les deux pics présentés sur ces diagrammes sont relatifs à la période chaude là où nous avons prévu une ventilation.

Concernant la couverture des aérogénérateurs, nous constatons que tout dépend de la puissance nominale de l'aérogénérateur et de la vitesse du vent du site concerné. Nous remarquons pour les sites où le potentiel éolien est faible, tel que le site de Tamanrasset, le nombre de machine pour couvrir la demande énergétique est très important, quelques soient leurs puissances nominales. Pour les sites ayant des vitesses de vent allant de 3 m/s à 4 m/s, tel que Ghardaïa et Batna, nous remarquons que pour les aérogénérateurs de faibles puissances nominales ($P_n < 6$ kW), le nombre de machine pour couvrir la demande énergétique est important. Ceci est lié à notre sens à la vitesse de démarrage qui dépend, quant à elle de l'énergie mécanique de l'aérogénérateur. Néanmoins, ce nombre diminue considérablement pour les aérogénérateurs de plus de 6 kW.

Concernant les sites de Adrar, Bouzaréah et El Oued, qui ont une moyenne de vitesse de vent supérieure à 5m/s, nous remarquons que la couverture est satisfaite avec un nombre moyen pour les aérogénérateurs de puissance nominale inférieure à 6 kW et pour les aérogénérateurs de puissance nominale supérieur à 6 kW, comme nous l'avons constaté pour Vergnet GEV 7/10 et INCLIN 6000, une seule unité peut couvrir la demande.

5.2 Système de stockage

Pour une autonomie de trois jours (rendement des accumulateurs = 85 %, tension nominale = 48 V, décharge maximale des accumulateurs = 50 % et une puissance nominale de 105 Ah) pour tous les sites choisis, le nombre de batteries de stockage pour chacun des mois est donné sur le tableau ci-dessous.

Tableau 3: Détermination du nombre de batteries

Mois	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Nb. bat.	4	4	4	4	5	5	5	5	4	4	4	4

6. CONCLUSION

La présente étude nous a permis d'analyser la possibilité d'une alimentation électrique d'une maison située sur six zones climatiques algériennes. Les résultats obtenus ont montrés que la production des aérogénérateurs dépend des caractéristiques mécaniques de ces derniers ainsi que de la vitesse du vent du site choisi.

Les calculs ont montrés également que l'installation d'un système éolien dans des sites présentant un faible potentiel éolien est à écarter puisqu'il présente certains inconvénients, entre autre le nombre élevés des aérogénérateurs qui nécessite un grand terrain pour l'implantation du parc éolien.

Enfin, le nombre d'aérogénérateurs indiqué plus haut, peut être revu à la baisse en combinant le système éolien, avec d'autres sources d'énergies comme les panneaux photovoltaïques ou une génératrice diesel.

NOMENCLATURE

c	: Facteur d'échelle, [m/s]
CF	: Coucher des membres de la famille
$f(v)$: Densité de probabilité de la vitesse du vent
h_c	: Heure de coucher du soleil, [heure]
h_l	: Heure du lever du soleil, [heure]
k	: Facteur de forme
LF	: Lever des membres de la famille
$P(V)$: Courbe de puissance de l'aérogénérateur, donnée par le constructeur
V_{in}	: Vitesse de début de production d'électricité, [m/s]
V_{out}	: Vitesse d'arrêt de production d'électricité, [m/s]
δ	: Déclinaison, [°]
ϕ	: Latitude du lieu, [°]
Γ	: Fonction Gamma

REFERENCES

- [1] R. Hammouche, '*Atlas Vent de l'Algérie*', Office National de la Météorologie, Ed. O.P.U., Alger, 1990.
- [2] K. Ameer, '*Estimation Préliminaire de l'Energie Produite par Différents Aérogénérateurs Destinés pour le Site Algérois, Parc des Grands Vents*', Rapport Interne, CDER, 2003.
- [3] H. Daou-Nedjar, '*Evaluation Mensuelle de la Densité de Puissance du Site de Bouzaréah*', Fiche Technique, Rapport Interne, CDER, Juillet 2002.
- [4] N. Kasbadji-Merzouk and M. Merzouk, '*Useful Power Density of Wind Machine in Algeria*', Proceedings of IMEC 2004, International Mechanical Engineering Conference, Kuwait, December 5 – 8, 2004.
- [5] D. Saheb-Koussa, '*Contribution à l'Etude Théorique du Comportement d'un Système Hybride (Eolien – Photovoltaïque – Diesel) de Production d'Electricité sans Interruption*', Mémoire de Magister, Université de Blida, Septembre 2005.
- [6] D. Saheb-Koussa, M. Belhamel et M. Alem, '*A Hybrid System (Wind, Solar) for the Electric Supply of a Load as a Domestic Use*', World Renewable Energy Congress VII, WREC-2002, Cologne, Germany, 29 June - 5 July 2002.
- [7] D. Saheb-Koussa, M. Belhamel et M. Alem, '*Electrification sans Interruption d'une Maison Située sur Différentes Zones Climatiques Algériennes non Raccordée au Réseau Conventionnel et Etude Economique du Système*', SIPE'6, 6^{ème} Séminaire International sur la Physique Energétique, Béchar, 21 - 23 Octobre 2002.
- [8] M. Iqbal, '*An Introduction to Solar Radiation*', Department of Mechanical Engineering, University of British Columbia, Vancouver, Canada, Academic press, 1983.
- [9] Office National de la Météorologie, '*Atlas Climatologique National*', Recueil de Données, Période 1975-1984.
- [10] M. Koussa, '*Détermination du Gisement Solaire Alger-Bouzaréah*', Thèse de Magister, C.D.E.R., Mars 1990.