

Evaluation de la production énergétique d'un aérogénérateur sur un site isolé dans la région côtière du Bénin

Aristide Barthélémy Akpo [†], Juste Christel Tankpinou Damada, Hagninou Elagnon Venance Donnou, Basile Bruno Kounouhewa [‡] et Cossi Norbert Awanou

Laboratoire de Physique du Rayonnement, Faculté des Sciences et Techniques
Université d'Abomey – Calavi, 01 B.P. 526, Cotonou, Bénin

(reçu le 31 Août 2015 – accepté le 30 Septembre 2015)

Résumé - Cette publication a pour but d'effectuer l'analyse statistique des vitesses du vent et d'évaluer la production de l'énergie éolienne sur un site isolé au Sud du Bénin. L'étude est faite à partir des données de vents mesurées à l'aéroport de Cotonou par le service météorologique de l'ASECNA (Agence Nationale pour la Sécurité de la Navigation Aérienne) sur 34 ans (1981 – 2014), à l'aide d'un anémomètre installé sur un mât à 10 m au-dessus du sol. La distribution de Weibull a été utilisée pour modéliser la vitesse du vent moyen mensuel qui varie d'un minimum de 3.6 m.s^{-1} en décembre à 5.5 m.s^{-1} en Août. Les résultats de calcul de la densité de puissance pour le site varient de 28 W.m^{-2} en Décembre à 76.5 W.m^{-2} en Août. Le modèle quadratique a été utilisé pour faire le choix optimal d'un petit aérogénérateur et la production journalière moyenne en fonction des mois a été évaluée et varie de 2.2 kWh en Décembre à 6 kWh en Août. L'énergie éolienne annuelle produite estimée à 1.5 MWh est suffisante pour résoudre les problèmes d'accès à l'électricité, à l'eau, et à la petite irrigation sur des sites isolés au sud du Bénin.

Abstract - This work aims to present the statistical analysis of the wind speed and to evaluate the wind energy production on an isolated site in the South of Benin. The study is based on data measured at Cotonou Airport by the meteorological service of ASECNA (Agence Nationale pour la Sécurité de la Navigation Aérienne). Data were collected during 34 years by anemometer deployed on a stand at 10 m of height in the period from January 1981 to December 2014. The Weibull distribution was used to model the daily mean wind speed in dependence of the months; it varies from a minimum value of 3.6 m.s^{-1} in December to maximum values of 5.5 m.s^{-1} in August. According to the power calculations done for the site, the daily mean wind density varies from 28 W.m^{-2} in December to 76.5 W.m^{-2} in August. We used quadratic model for the optimal selection of a wind turbine generator and computed daily mean values of wind energy produced in each month which varied from a minimum of 2.2 kWh in December to maximum values of 5.9 kWh in August. The total annual wind energy provided in isolated site is 1.5 MWh and this is enough to solve problems of electricity and water access and irrigation of little farms in isolated sites in the South of Benin.

Mots-clés: Aérogénérateur - Distribution de Weibull - Densité de Puissance - Energie éolienne annuelle produite.

1. INTRODUCTION

L'accès à l'énergie est un défi majeur pour le bien être des peuples et le développement des nations. Du fait de l'épuisement progressif des ressources énergétiques traditionnelles d'une part et du renchérissement des prix des produits pétroliers d'autre part, un intérêt particulier est accordé désormais au développement d'autres sources d'énergie. Des perspectives s'offrent alors aux énergies renouvelables notamment en matière de lutte contre la désertification, la limitation des impacts du changement climatique et d'électrification rurale [1]. L'une des préoccupations actuelles

[†] akpoarist@yahoo.fr , nonojust2@yahoo.fr , donhelv@yahoo.fr

[‡] kbbasile@gmail.com , cawanou@gmail.com

du Bénin et même de la sous-région, est l'exploration des sources d'énergies renouvelables afin de procéder à leur valorisation comme approches de solutions à la crise énergétique qui secoue le pays [1, 2].

D'après [1] la production électrique du Bénin en 2008 couvrait à peine 25 % de ses besoins et le pays dépend en matière d'énergie du Ghana et du Nigéria à près de 75%. Par ailleurs, l'énergie électrique est inégalement répartie entre ville et campagne. Selon ce même rapport, au Bénin, en ville 51% des ménages bénéficient du courant électrique alors qu'en zones rurales seuls 2.5% de la population en disposent. Il urge alors pour le Bénin de trouver d'autres sources d'énergies alternatives.

D'après les travaux [2, 3], le Sud du Bénin dispose d'un gisement exploitable dans la zone d'étude. Toutefois, les données présentées dans [3] couvrent la période (1960-1985) et il convient de procéder à une étude actualisée de la ressource à l'échelle climatologique pour tenir compte des changements climatiques et de l'évolution des méthodes de calcul utilisées. La présente étude permet pour la fiabilité des résultats escomptés d'utiliser les données de vent enregistrées sur une période de 34 ans (1981-2014).

Par ailleurs, les travaux antérieurs effectués pour ce site n'abordent pas la production énergétique d'un aérogénérateur qui est l'indicateur essentiel d'appréciation de la ressource éolienne sur un site.

Ainsi, les objectifs de cette étude sont les suivants:

- actualiser les caractéristiques du vent au sud du Bénin
- évaluer le gisement énergétique disponible et récupérable le long de l'année
- sur l'exemple du choix optimal d'un petit aérogénérateur faire les calculs de production énergétique sur un site isolé.

2. DONNEES ET METHODES

2.1 Présentation du milieu d'étude et des données exploitées

La région sud du Bénin comprise entre 6°10' et 6°40' N et 1°40' et 2°45' E est limitée au nord par la pénéplaine cristalline du Moyen-Bénin, au sud par l'Océan Atlantique à l'Est par le Nigéria à l'Ouest par le Togo s'inscrit dans le bassin sédimentaire côtier dont les terrains les plus anciens remontent au Crétacé (fin de l'ère secondaire) [4].

Elle est caractérisée par une succession de lacs et de lagunes séparés de la mer par un étroit cordon littoral. Elle s'étend sur 125 kilomètres de long et sur 50 kilomètres en moyenne de large [4] sur le continent. Elle bénéficie d'un climat de type subéquatorial à régime pluviométrique bimodal qui couvre tout le bassin côtier jusqu'à la latitude 7° Nord et comprend deux saisons sèches et deux saisons pluvieuses [4].

Leur répartition au cours de l'année s'explique par la migration du front inter tropical qui est une ligne de rencontre de la mousson du Sud-ouest, vent maritime pluvieux, et des alizés du Nord-Est, vent continental sec [1].

Les données exploitées dans notre étude sont constituées de séries de vitesses de vent enregistrées et fournies par l'ASECNA grâce à des capteurs de vent (anémogirouette) de type Chauvin Arnoux. Les données brutes sont collectées toutes les trois heures à 10 m du sol par le service météorologique de l'aéroport de Cotonou 6°21 N et 1°40E dans la période allant du 1^{er} janvier 1981 au 31 Décembre 2014.

La figure 1 donne un aperçu de la région d'étude.

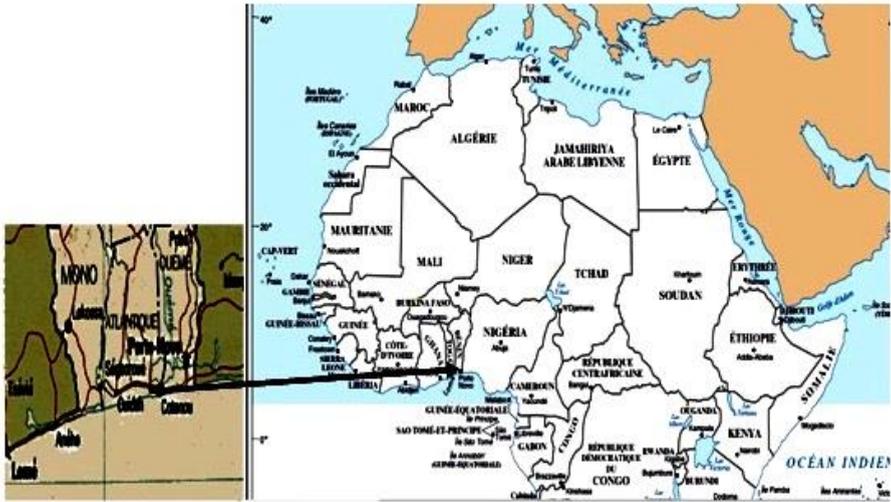


Fig. 1: Situation géographique de la zone côtière du Bénin
Localisation sur la carte d'Afrique.

2.2 Méthodes

2.2.1 Fonction de Weibull

Le potentiel éolien se détermine à partir des distributions de la vitesse moyenne du vent. La fonction qui modélise le mieux cette distribution est celle de Weibull [5, 6, 7]. Elle s'exprime mathématiquement par sa fonction densité de probabilité $f(v)$ donnée par [5-7].

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

où $f(v)$ représente la distribution des fréquences des vitesses de vent, k et C sont les paramètres de Weibull respectivement le paramètre de forme et d'échelle.

Plusieurs méthodes sont utilisées pour déterminer ces paramètres. Parmi les plus utilisées, on retient celle de l'écart type et de la vitesse moyenne. Le paramètre de forme k est déterminé par l'approximation suivante [5, 7]:

$$k = \left(\frac{\sigma}{\bar{v}} \right)^{-1.086} \quad (2)$$

où $f(v)$ représente la distribution des fréquences des vitesses de vent, k et C sont les paramètres de Weibull respectivement le paramètre de forme et d'échelle.

Le facteur d'échelle est déterminé par:

$$C = \frac{\bar{v}}{\Gamma(1 + 1/k)} \quad (3)$$

La fonction gamma Γ est définie par la relation:

$$\Gamma(x) = \int_0^{\infty} \exp(-t) t^{x-1} dt \quad x > 0 \quad (4)$$

Lorsque la fréquence des vents calmes enregistrée sur un site donné est supérieure ou égale à 15 %, la distribution hybride de Weibull est utilisée [6, 9]. Elle est donnée par:

$$f(v) = (1 - F_0) \left(\frac{k}{C}\right) \left(\frac{v}{C}\right)^{k-1} \exp\left[-\left(\frac{v}{C}\right)^k\right] \text{ pour } v > 0 \tag{5}$$

où F_0 représente la fréquence des vents calmes.

Dans le tableau ci-après les différentes expressions des vitesses moyennes et cubiques moyennes ainsi que les variances selon le modèle utilisé sont données.

Tableau 1: Ajustement de la vitesse moyenne, cubique et de l'écart type [8, 9]

Distri butions	\bar{v}	\bar{v}^3	σ^2
Weibull	$c\Gamma(1+1/k)$	$c^3\Gamma(1+3/k)$	$c^2[\Gamma(1+2/k)-\Gamma^2(1+1/k)]$
Hybride Weibull	$(1-F_0)c\Gamma(1+1/k)$	$(1-F_0)c^3\Gamma(1+3/k)$	$(1-F_0)c^2[\Gamma(1+2/k)-\Gamma^2(1+1/k)]$

2.2.2 Puissance éolienne disponible

En théorie, la densité de puissance éolienne par unité de surface est donnée par:

$$\bar{P} = 1/2 \rho S \bar{v}^3 \tag{6}$$

En intégrant l'expression de \bar{v}^{-3} ci-dessus pour la distribution de Weibull, on obtient:

$$\bar{P} = 1/2 \rho S c^3 \Gamma(1 + 3/k) \tag{7}$$

2.2.3 Puissance éolienne récupérable

Les différents auteurs, tels que [7-9] ont utilisé le coefficient de Betz qui est de 16/27 pour évaluer la puissance éolienne récupérable. Elle est donnée par:

$$\bar{P}_r = 8/27 \rho S c^3 \Gamma(1 + 3/k) \tag{8}$$

2.2.4 Puissance éolienne utile

L'énergie produite par un aérogénérateur dépend de sa courbe caractéristique. Celle-ci constitue donc un élément important dans la modélisation. D'après les travaux de [7, 10, 11], il existe de nombreux modèles qui ont été développés pour la simulation de la puissance fournie par un aérogénérateur, mais il n'existe aucun modèle mathématique qui soit adapté à tous les types d'éoliennes.

Cependant, d'après le même auteur le modèle quadratique est celui qui présente en général le plus faible taux d'erreur quadratique et est donc plus adapté pour tester la fiabilité des éoliennes. Il est donné par [7,10, 11]:

$$P_{\text{éol}} = \left\{ \begin{array}{ll} P_n \frac{v^2 - v_D^2}{v_N^2 - v_D^2} & v_D < v < v_N \\ P_n & \text{avec } v_N < v < v_C \\ 0 & v \leq v_D, v \leq v_C \end{array} \right\} \tag{9}$$

P_N est la puissance nominale de l'aérogénérateur, v désigne la vitesse du vent à la hauteur du moyeu à un instant donné. v_D , v_N et v_C désignent respectivement la vitesse de démarrage, la vitesse nominale et la vitesse de coupure de l'aérogénérateur.

Dans le but de faire un choix optimal des aérogénérateurs testés, nous allons calculer le paramètre d'analyse statistique suivant: le coefficient de détermination R^2 donné par [12, 13]:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - x_i)^2}{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2} \tag{10}$$

Où N est le nombre total d'intervalles, y_i est la fréquence de valeur observée, x_i est la fréquence de valeur estimée et \bar{y} la valeur moyenne de y_i . Un modèle est dit idéal, s'il est caractérisé par un coefficient de corrélation égal à 1. [14, 15]. La puissance moyenne en sortie d'un aérogénérateur est obtenue à partir de la formule suivante [8, 9]:

$$P_{moy} = \int_{V_d}^{V_n} P_1(v) f(v) dv + P_n \int_{V_n}^{V_C} f(v) dv \tag{11}$$

Pour déterminer la production énergétique de l'aérogénérateur, il suffit de multiplier sa puissance moyenne de sortie par 24 h pour déterminé l'énergie éolienne quotidienne produite, et $24 h \times 365.25$ pour déterminer l'énergie éolienne annuelle produite.

3. RESULTATS ET DISCUSSIONS

3.1 Distribution de la vitesse du vent

3.1.1 Variation temporelle des vitesses de vent

Avec les données de vitesse du vent mesurées à l'aéroport de Cotonou, nous avons calculé les moyennes aux heures de mesures (00 h, 03 h, 06 h, 9 h, 12 h, 15 h, 18 h, 21 h) sur toute la période de mesure (1981-2014).

La figure 2 montre la variation journalière moyenne de la vitesse pour le site de Cotonou-Aéroport, la variation temporelle de la vitesse du vent est due à un couplage de la circulation générale de l'atmosphère et des phénomènes thermiques liés au rayonnement solaire dans la région côtière du Bénin.

La vitesse moyenne du vent varie peu la nuit et augmente pendant la journée à partir du lever du soleil. Les maximums sont atteints vers 15 h sous l'influence du vent thermique et les minimums sont enregistrés à 06 h.

Ainsi, on note une augmentation de la vitesse du vent dans la journée de 2.9 m/s à 5.2 m/s entre 06 h et 15 h et une diminution en début de soirée entre 15 h et 06 h de 5.2 m/s à 2.9 m/s.

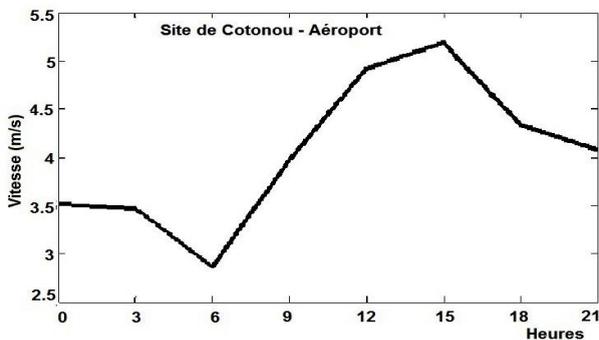


Fig. 2: Variation journalière de la vitesse moyenne du vent à Cotonou (1981-2014)

La figure 3 illustre la variation des vitesses moyennes mensuelles calculées sur toute la période de mesures. On remarque que les vitesses maximales sont obtenues au mois d’Août et atteignent une valeur moyenne de 5.5 m/s et les minimas sont de 3.6 m/s et sont enregistrées au mois de Décembre.

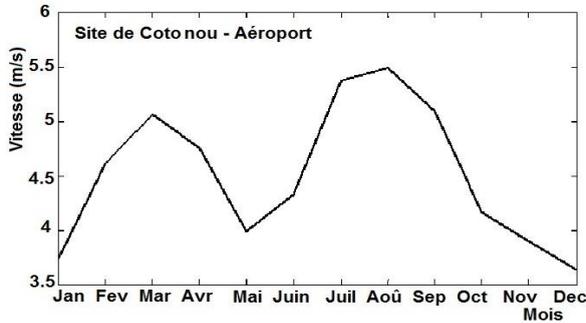


Fig. 3: Variation mensuelle de la vitesse moyenne du vent à Cotonou (1981-2014)

Dans le **tableau 2**, nous présentons les vitesses moyennes mensuelles et les écarts types observés sur chaque mesure de vitesse moyenne mensuelle.

Tableau 2: Vitesses moyennes mensuelles et leurs écarts types à Cotonou (1981-2014)

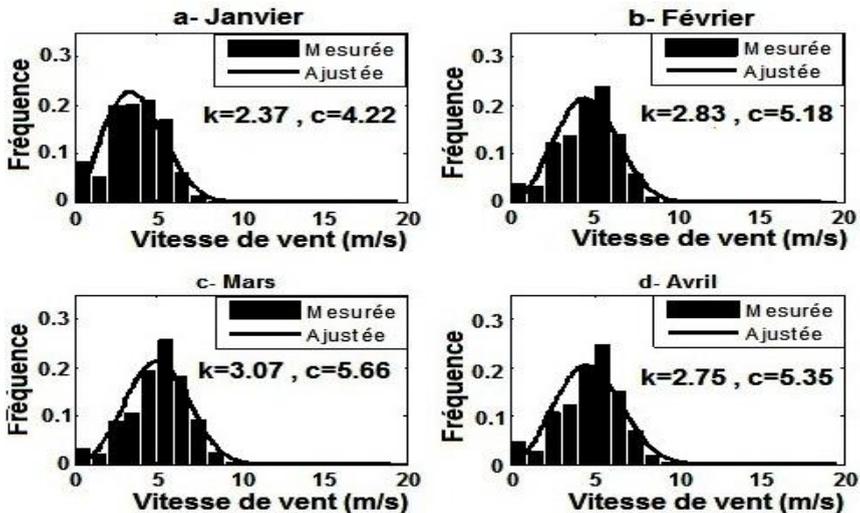
Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec
\bar{v}	3.7	4.6	5.1	4.8	4	4.3	5.4	5.5	5.1	4.2	3.9	3.6
σ	1.7	1.8	1.8	1.9	1.9	2	1.8	1.7	1.9	1.9	1.7	1.6

La plus grande déviation de la distribution des vents sur le site d’étude se situe en Juin alors qu’elle est faible en Décembre.

3.1.2 Ajustement de Weibull

Les courbes d’ajustement de la distribution statistique des fréquences mensuelles des vitesses du vent des mois de Janvier à Décembre obtenues à partir de la distribution de Weibull pour le site d’étude sont représentées en figure 4.

Il faut noter que la distribution hybride de Weibull n’a pas été utilisée du fait du faible taux de fréquence de vent calme observé dans chaque mois.



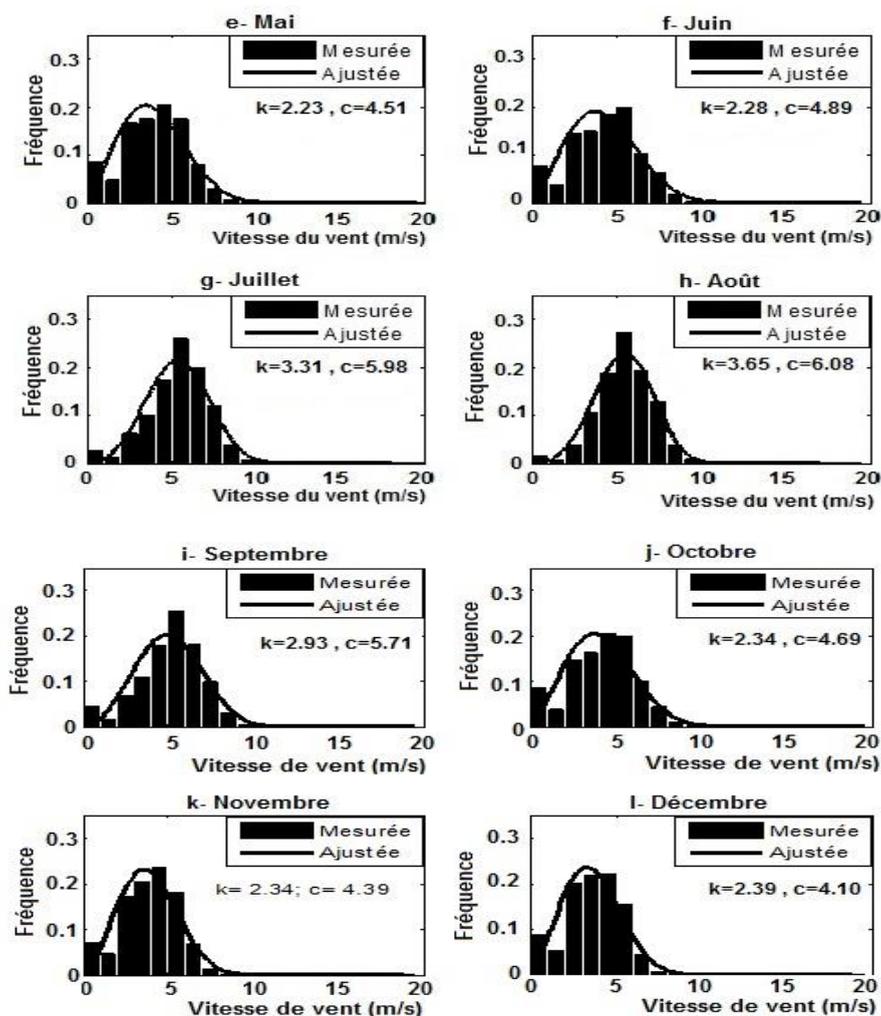


Fig. 4: Courbe mensuelle d'ajustement de Weibull (Janvier-Décembre) Cotonou (81-14)

a- Janvier, b- Février, c- Mars, d- Avril, e- Mai, f- Juin, g- Juillet
 h- Août, i- Septembre, j- Octobre, k- Novembre, l- Décembre

L'évolution de la distribution mensuelle diffère d'un mois à l'autre. Par ailleurs, on remarque que le mois d'Août est le mois le plus venté avec un paramètre d'échelle égale à 6.08 m/s et que le mois de Mai reste un mois particulier de l'année avec un facteur de forme faible entraînant une distribution étroite autour de la moyenne.

Le site présente un régime de vent instantané pouvant atteindre 10 m/s en Janvier et quelques épisodes de rafales de vent pouvant atteindre 20 m/s ont été observés aux mois de Mars, Mai et Juillet.

La courbe d'ajustement annuelle des fréquences de vent est représentée en figure 5.

Elle indique un facteur de forme égal à 2.55, un facteur d'échelle de 5.08 m/s. De plus, 78 % des vitesses du vent sont supérieures ou égales à 3 m/s (vitesse de démarrage de la plupart des éoliennes).

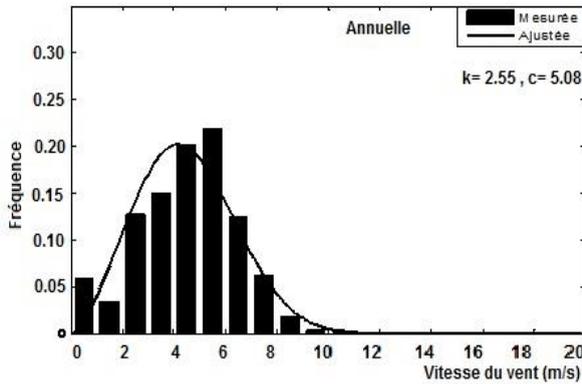


Fig. 5: Courbe annuelle d’ajustement de Weibull à Cotonou (1981-2014)

3.2 Densité de puissance éolienne

A partir des expressions (7) et (8), les résultats obtenus pour la densité de puissance mensuelle disponible et récupérable sont présentés sur la figure 6.

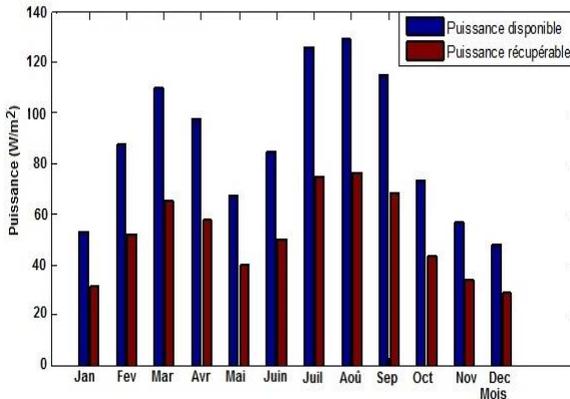


Fig 6: Densité de puissance mensuelle à Cotonou (1981-2014)

Les densités de puissance éolienne récupérable obtenues nous indiquent que les plus grandes valeurs sont enregistrées pour les mois de Juillet, Août et Septembre respectivement avec des valeurs de 74.84 W.m^{-2} , 76.54 W.m^{-2} , et 68.14 W.m^{-2} , tandis que dans les mois de Novembre, Décembre et Janvier les minima de l’année estimés respectivement à 33.57 W.m^{-2} , 28 W.m^{-2} et 31.31 W.m^{-2} , sont obtenus. La densité de puissance récupérable annuelle est estimée à 620.76 W/m^2 .

3.2 Choix d’un aérogénérateur et calcul de l’énergie éolienne produite

Dans le cadre de cette étude, nous avons choisi de sélectionner un petit aérogénérateur de puissance 01 kW parmi ceux proposés par 08 divers constructeurs à travers le monde [7, 10, 16]. Ces aérogénérateurs sont présentés dans le **tableau** ci-après.

Tableau 3: Les différents modèles d’aérogénérateurs utilisés pour l’étude

Constructeur	Modèles	Puis. Nom.	Pays d’origine
Berguey	BWC XL.1	01	Etats Unis
Hopeful	Airforce2.0	01	Chine

Precise WT	AH3.2	01	Thaïlande
Aws Aelos WT	Aelos-H	01	Australie
Kestrel	E300i	01	Afrique du Sud
Southwest Windpower	Whisper 2000	01	Etats Unis
Great Watt	S1000	01	Chine
AeroVironment	AVX 1000	01	Etats Unis

Ces derniers ont été testés grâce au modèle quadratique. Les résultats de ces tests effectués à partir de l'expression (10) sont présentés en figure 7.

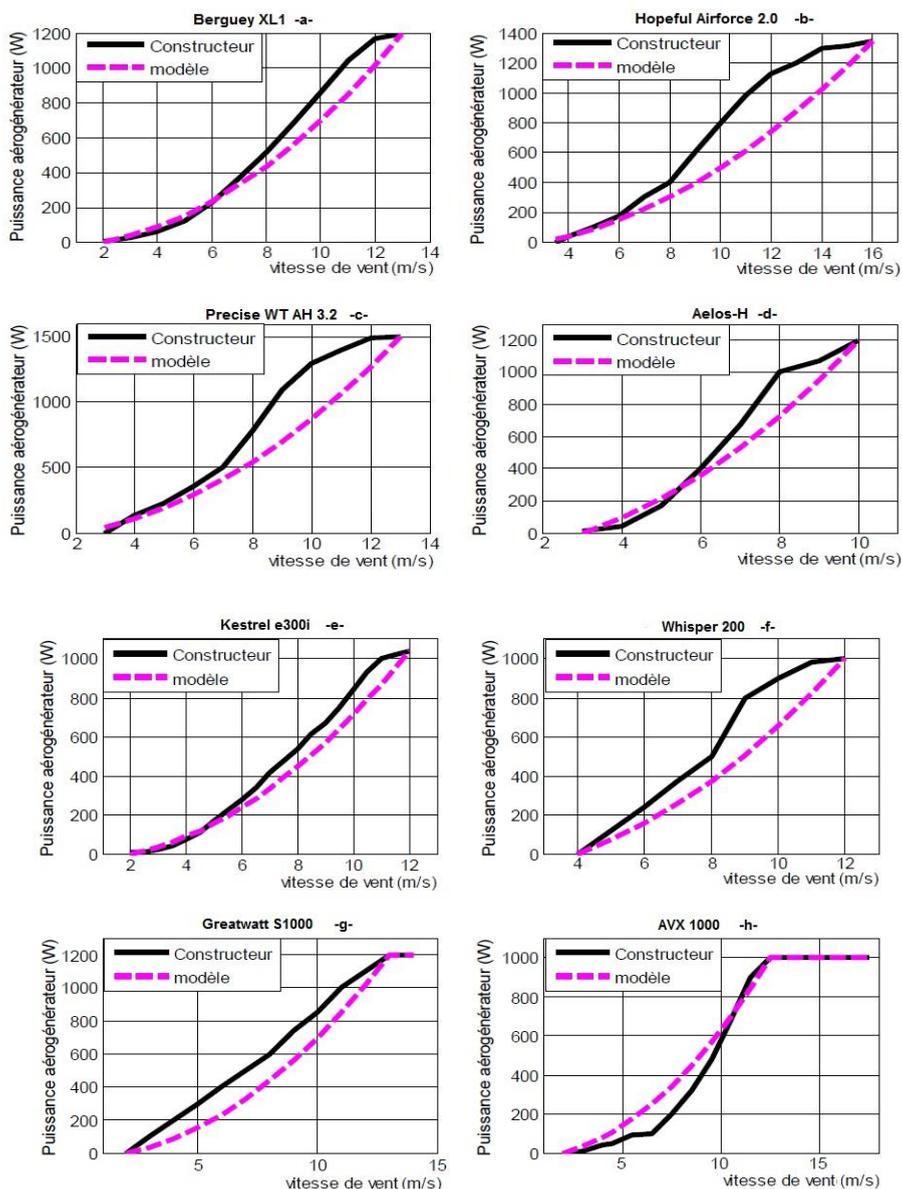


Fig. 7: Résultats des tests de fiabilité de différents aérogénérateurs à l'aide du modèle quadratique

a- Bergey (XL.1), **b-** Hopeful Airforce 2.0, **c-** Precise WT AH 3.2, **d-** Aelos-H
e- Kestrel e300i, **f-** Whisper 200, **g-** Greatwatt S1000, **h-** AVX 1000

Les résultats obtenus à partir du paramètre d'analyse statistique de la relation (11) déterminé entre les données du constructeur et le modèle quadratique est résumé dans le **Tableau 4**.

Tableau 4: Test de corrélation entre les données du constructeur et le modèle quadratique(R²)

Modèles	Bergey	Hopeful	WTAH	Aelos	Kestrel	Whisper 200	S1000	AVX1000
R ²	0.99	0.9642	0.9643	0.978	0.9936	0.9676	0.987	0.9930

L'analyse du **tableau** ci-dessus révèle que le modèle Kestrel e300i est plus fiable pour notre site, car les courbes de la puissance éolienne obtenues respectivement à partir des données du constructeur et du modèle quadratique sont presque confondues avec une corrélation plus proche de 1. La production énergétique journalière de l'aérogénérateur Kestrel e300i obtenue à partir de l'expression (12) est représentée sur la figure 8.

L'analyse de la figure révèle que la production énergétique mensuelle moyenne varie d'un mois à l'autre au cours d'une année. Sa valeur maximale est de 183 kWh (mois d'Août) alors que sa valeur minimale est de 69 kWh (mois de Décembre). La production annuelle est évaluée à 1.45 MWh. Ainsi donc avec une utilisation rationnelle de l'énergie cet aérogénérateur peut alimenter un ménage de consommation énergétique moyenne mensuelle de 120 kWh et peut servir de source d'énergie pour la petite irrigation et le pompage de l'eau en milieu rural au Sud du Bénin.

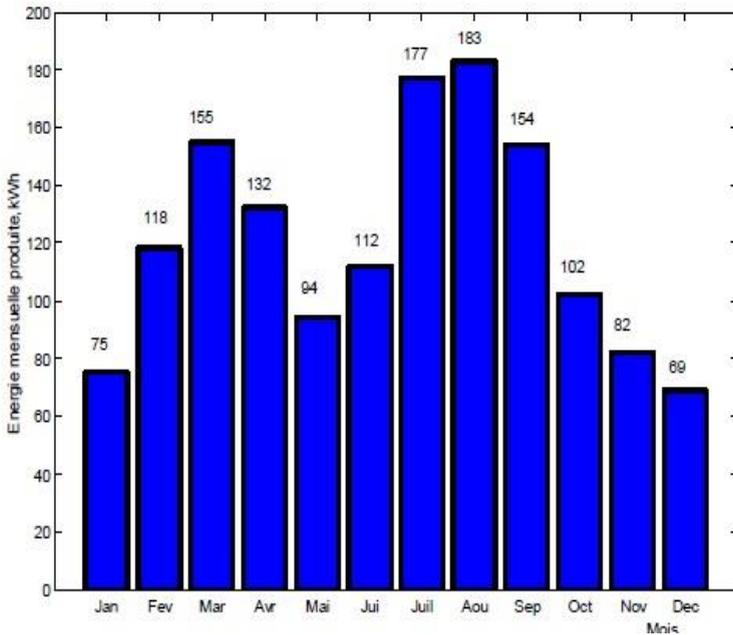


Fig. 8: Production énergétique mensuelle moyenne de l'aérogénérateur Kestrel e300i à Cotonou (1981-2014)

4. CONCLUSION

Dans cet article, trente quatre années (1981-2014) de mesures tri-horaires de la vitesse du vent, prises à 10 m du sol à l'aéroport de Cotonou, ont été utilisées pour faire la statistique des vents au Sud du Bénin et évaluer la production d'électricité sur un site isolé, à partir d'un petit aérogénérateur.

Le profil journalier type du vent a été déterminé et montre une augmentation de la vitesse de sa valeur minimale à 6 h du matin vers sa valeur maximale qui est généralement observée vers 15 h et qui montre l'impact du vent thermique. Le profil annuel du vent présente un cycle saisonnier avec un minima de $(3.6 \pm 1.6) \text{ m.s}^{-1}$ en Décembre en période d'Harmattan et un maxima de $(5.5 \pm 1.7) \text{ m.s}^{-1}$ obtenu au mois d'Août en période de mousson en Afrique de l'Ouest.

Les histogrammes des vitesses moyennes mensuelles du vent ont été tracés et les paramètres de l'ajustement de Weibull ont été calculés pour tous les mois de l'année et ont permis de modéliser la vitesse du vent sur le site.

Les calculs de production d'électricité par un petit aérogénérateur montrent que l'énergie annuelle produite qui est de 1.45 MWh sur un site isolé dans le littoral du Bénin est suffisante pour survenir aux besoins de pompage d'eau et pour l'irrigation de petites fermes agricoles.

Remerciements- Les auteurs de ce papier remercient très sincèrement l'Agence pour la Sécurité de la Navigation Aérienne en Afrique et à Madagascar (ASECNA) pour avoir mis à leur disposition les données de vitesse de vent qui ont servi à la réalisation de ces travaux.

NOMENCLATURE

C , Facteur d'échelle de Weibull, m.s^{-1}	\bar{P} , Puissance éole disponible, W.m^{-2}
k , Facteur de forme de Weibull	\bar{P}_r , Puissance éole récupérable, W.m^{-2}
P_{eol} , Puissance fournie par un aéro, W	P_n , Puissance nominale de l'aéro., W
P_I , Puissance instantanée de l'aéro., W	\bar{v} , Vitesse moyenne du vent, m.s^{-1}
v_D , Vitesse démarrage de l'aéro, m.s^{-1}	v_N , Vitesse nominale de l'aéro., m.s^{-1}
v_C , Vitesse de coupure de l'aéro, m.s^{-1}	x_i , Fréquence de valeur estimée
y_i , Fréquence de valeur observée	\bar{y} , Valeur moyenne de y_i
$f(v)$, Fonction de Weibull	ρ , Densité de l'air, kg.m^{-3}
Γ , Fonction gamma	σ , Ecart type
S , Surface du rotor de l'aérogénérateur	N , Nombre total d'intervalles
R^2 , Coefficient de corrélation	

REFERENCES

- [1] B.A. Yatokpa, S. Mahman et K. Abble, 'Rapport Final sur l'Identification et Cartographie des Potentialités et Sources d'Energie Renouvelables Assorties des Possibilités d'Exploitation', Ministère de l'Energie et de l'Eau, PNUD, Bénin, 112 p., Juillet 2010.
- [2] M.A. Houekpoheha, B. Kounouhewa, B.N. Tokpohozin et N. Awanou, 'Estimation de la Puissance Energétique Eolienne à partir de la Distribution de Weibull sur la Côte Béninoise A Cotonou dans le Golfe de Guinée', Revue des Energies Renouvelables Vol. 17 N°3 pp. 489 – 495, 2014.

- [3] C.N. Awanou, E. Ahlonsou and Degbey, '*Estimation of the Mean Wind Energy, Available in Bénin (ex Dahomey)*', Renewable Energy, Vol. 1, N°5-6, pp. 845 – 853, 1991.
- [4] E.G.C. Degbe, M.L. Oyede et A.R. Laïbi, '*Risques Environnementaux sur le Littoral Béninois: Erosion Côtière et Stratégies de Lutte*', Journées Internationales du Dragage, Gabon (Libreville), 2010.
- [5] N.K. Merzouk et M. Merzouk, '*Estimation du Potentiel Énergétique Éolien Utilisable-Application au Pompage dans les Hauts Plateaux*', Revue des Énergies Renouvelables, Vol.9, N°3, pp. 155 – 163, 2006.
- [6] H. Faïda, J. Saadi, M. Khaïder, S. El Alami et M. Monkade, '*Etude et Analyse des Données du vent en Vue de Dimensionner un Système de Production d'Énergie Éolienne: Cas d'un Site au Nord du Maroc*', Revue des Énergies Renouvelables, Vol. 13, N°3, pp. 477 – 483, 2010.
- [7] S. Diaf, '*Évaluation du Potentiel Éolien et Estimation de la Production d'une Ferme Éolienne dans la Région d'Adrar*', Revue des Énergies Renouvelables SMEE'10 Bou Ismail Tipaza, pp. 161 – 172, 2010.
- [8] N.K. Merzouk, '*Évaluation du Gisement Énergétique Éolien, Contribution à la Détermination du Profil Vertical de la Vitesse du Vent en Algérie*', Thèse de Doctorat, Université Abou Bakr Belkaïd, Tlemcen, 182 p., 2006.
- [9] S. Madougou, '*Étude du Potentiel Éolien du Jet Nocturne dans la Zone Sahélienne à partir des Observations de Radars Profileurs de Vent*', Thèse de Doctorat, Université de Toulouse, France, 214 p., 2010.
- [10] S. M.Boudia , '*Optimisation de l'Évaluation Temporelle du Gisement Énergétique Éolien par Simulation Numérique et Contribution à la Réactualisation de l'Atlas des Vents en Algérie*', Thèse de Doctorat, Université de Tlemcen Abou-Bakr Blekaïd, Tlemcen, 155 p., 2012.
- [11] L. Lu, H. Yang and J. Burnett, '*Investigation on Wind Power Potential on Hong Kong Islands –an Analysis of Wind Power and Wind Turbine Characteristics*'. Renewable Energy, Vol. 27, pp. 1–12, 2002.
- [12] S. Akpınar and E. K. Akpınar, '*Wind Energy Analysis Based on Maximum Entropy Principle (MEP)-Type Distribution Function*', Energy Conversion and Management, Vol. 48, N°4, pp. 1140 – 1149, 2007.
- [13] F. Ben Amar, M. Elamouri and R. Dhifaoui, '*Energy Assessment of the First Wind Farm Section of Sidi Daoud, Tunisia*', Renewable Energy, Vol. 33, N°10, pp. 2311 - 2321, 2008.
- [14] G. Al Zohbi, P. Hendrick et P. Bouillard, '*Évaluation du Potentiel d'Énergie Éolienne du Liban*', Revue des Énergies Renouvelables, Vol. 17 N°1 (2014) 83 – 96, 2014.
- [15] D. Indhumathy, C.V. Seshaiyah and K. Sukkiramathi, '*Estimation of Weibull Parameters for Wind speed calculation at Kanyakumari in India*', International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology, Vol. 3, N°1, pp. 8340 - 8345, 2014.
- [16] D.S. Koussa, M. Belhamel et B. Kazed, '*Système Éolien pour l'Alimentation d'une Charge à Usage Domestique*', Revue des Énergies Renouvelables, Vol. 10, N°1, pp. 127 – 138, 2006.
- [17] H. Daaou, S. Haddouche et N. Kasbadji Merzouk, '*Caractérisation Éolienne de Sites Ventés A l'Aide du Modèle Aiolos et d'un Modèle Numérique de Terrain (MNT)*', SMEE'10, Tipaza, Avril 2010.
- [18] H. Nfaoui, J. Bahraoui Buret and A.A.M. Sayigh, '*Wind Characteristics and Wind Energy Potential in Morocco*', Solar Energy, N°1, pp 51-60, 1998.
- [19] S.M. El Moustapha, M.L. Ndiaye, P.A. Ndiaye, A.K.O. Mahmoud et I. Youm, '*Influence des Paramètres Météorologiques sur la Production d'un Aérogénérateur: Application sur le littoral Sahélien*', Revue des Énergies Renouvelables, Vol. 17 N°1 pp 43 – 54, 2014.