

Estimation statistique des données du vent à partir de la distribution de Weibull en vue d'une prédiction de la production de l'énergie électrique d'origine éolienne sur le Mont Tinguelin à Garoua dans le Nord Cameroun

J.L. Nsouandélé, D.K. Kidmo, S.M. Djetouda and N. Djongyang

The Higher Institute of the Sahel, The University of Maroua
P.O Box 46, Maroua, Cameroon

(reçu le 10 Juin 2016 - accepté le 30 Juin 2016)

Résumé - La situation énergétique au Nord Cameroun est caractérisée par un faible taux d'accès à l'électricité. Au vu du potentiel énergétique éolien existant sur le Mont Tinguelin, son utilisation pour le développement de l'énergie électrique de la région semble favorable. Une solution avantageuse pour le Nord Cameroun est la récupération et la transformation de l'énergie éolienne en énergie électrique. Ce travail présente à partir des données obtenues auprès de l'ASECNA et par RETScreen.net en utilisant la distribution de Weibull [1], la densité de distribution du vent et exprime l'estimation statistique du potentiel énergétique éolien à des différentes altitudes sur le Mont Tinguelin à Garoua. Ensuite, la direction du vent est établie pour l'orientation des éoliennes dans le site. Enfin, l'évaluation de la prédiction de l'énergie électrique produite est faite tout en nous appuyant sur la prise en compte des choix judicieux des aérogénérateurs et de leurs facteurs de charge.

Abstract - The energy situation in Northern Cameroon is characterized by a low rate of access to electricity. In view of the wind energy potential existing on Mount Tinguelin, its use for the development of electric power in the region seems favourable. An advantageous solution for North Cameroon is the recovery and transformation of wind energy into electrical energy. This paper presents using data obtained from ASECNA and RETScreen and using the Weibull distribution [1], the distribution density of the wind and expresses the statistical estimation of the wind energy potential at different altitudes on the Mount Tinguelin in Garoua. Then, the wind direction is established for the orientation of the wind turbines in the site. Finally, the evaluation of the prediction of the electrical energy produced is done while taking into account the consideration of the judicious choices of wind generators and their load factors.

Mots clés: Potentiel éolien - Distribution de Weibull - Aérogénérateurs - Production d'électricité - Mont Tinguelin.

1. INTRODUCTION

La question énergétique est une problématique d'ampleur mondiale nécessitant impérativement de développer de nouvelles sources d'énergies pour pallier au déficit actuel. Elle coïncide vraisemblablement, avec l'épuisement des sources d'énergies classiques [1].

La partie septentrionale du Cameroun est alimentée en électricité à plus de 95 % par le barrage de Lagdo bâti sur le fleuve Bénoué qui subit progressivement une diminution d'eau, suite à l'insuffisance et à la rareté des pluies. Cet état entraîne une réserve d'eau très faible et proche de la valeur de référence du fonctionnement du barrage. Cependant, la demande augmente et l'offre est insuffisante. Ces situations provoquent des dommages dans le cadre de la production et de la distribution de l'électricité.

La recherche des sources d'énergies renouvelables et écologiques à la production de l'électricité est l'une des préoccupations actuelles du Cameroun et même de la sous-région afin de procéder à leur valorisation comme approches de solutions à la crise énergétique qui secoue la zone. Le Programme des Energies Renouvelables présente les

régions du Nord et de l'Extrême-Nord, avec une vitesse moyenne des vents évaluée à plus de 3 m/s, comme de potentielles zones de production d'électricité par exploitation de l'énergie éolienne [4].

Le vent est un phénomène aérodynamique par nature très complexe. Par suite de la variabilité des très nombreux paramètres qui le gouvernent, sa vitesse horizontale instantanée présente un caractère spatio-temporel fluctuant qui justifie des considérations spectrales. Une approche simple, valable pour les zones climatiques intertropicales, considère un processus caractérisé par la distribution de Weibull ou la distribution hybride de Weibull selon la fréquence des valeurs de sa vitesse [1, 3, 4].

L'objectif général de cet article, réalisé sur le Mont Tinguelin dans la partie Nord de la ville de Garoua, au Cameroun Septentrional, est de définir la fonction densité de distribution de vitesse sur le site, d'estimer à partir des mesures de données météorologiques acquises grâce à l'ASECNA et par RETScreen, les puissances éoliennes disponibles et récupérables de façon stable au cours d'une journée d'une part et le long d'une année d'autre part en fonction de l'altitude et de proposer une étude d'un parc éolien à installer.

2. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

Le Mont Tinguelin se situe à la partie Nord de la ville de Garoua à une altitude de 469 m au-dessus du niveau de la mer. Le **Tableau 1** présente les coordonnées géographiques du site.

Tableau 1: Données géographiques du Mont Tinguelin

Données géographiques	
Latitude	9.41 N
Longitude	13.44 E
Altitude	469 m
Hauteur du Mont	167 m

Connaissant les vitesses moyennes des vents évaluées à plus de 3 m/s dans la région et recherchant les montagnes pour des meilleures vitesses en altitude, le Mont Tinguelin nécessite l'étude de son gisement éolien. Il se situe également à une position stratégique en termes des bruits sonores dans la ville de Garoua.

De plus le mont bénéficie d'une élévation importante en altitude, d'une surface plate et bien grande en hauteur et d'un sol constitué des roches grès pour l'implantation des éoliennes (figure 1).



Fig. 1: Mont Tinguelin

3. MATERIEL ET METHODES

3.1 Matériel utilisés

La localisation du site et la détermination des paramètres géographiques sont faites sur le site de Google Mapp. Le logiciel WindPro relève les données horaires du site. Les données moyennes des vents numériques sont également fournies par la NASA à travers le logiciel RETScreen et l'ASECNA à travers la station sans fil Vantage Pro2 Plus. Les résultats sont validés après comparaison de WindPRO à celles de l'ASECNA et RETScreen. Le logiciel Microsoft Excel a permis de tracer les courbes et de dimensionner les éoliennes. Pour ressortir la rose des vents, le logiciel Windographer a été utilisé. Le logiciel Microsoft Visio a permis de dessiner le modèle du parc éolien. La simulation du parc éolien s'est faite également par le Logiciel RETScreen.

3.2 Méthodes

3.2.1 Potentiel éolien du site

Les données sur les vitesses du vent utilisées proviennent du logiciel WindPro 3.0.651 allant de 2012 à 2016. Il faut noter que ces données ont été comparé à celle de RETScree net de L'ASECNA afin d'évaluer leurs fiabilités. La distribution du vent se fait en fonction de la loi de Weibull utilisée par les statisticiens. Sur des séries de mesure du vent (au moins un an) on l'utilise comme modèle. Ses paramètres K et C sont calculés en fonction des mesures [2]. La loi de distribution de vitesses de Weibull s'exprime par la relation:

$$f(v) = \left(\frac{K}{C}\right) \times \left(\frac{v}{C}\right)^{K-1} \times \exp\left(-\left(\frac{v}{C}\right)^K\right) \quad (1)$$

Où $f(v)$ est la fréquence d'occurrence de la vitesse du vent. et C sont les paramètres de Weibull. Le paramètre K est sans dimension et caractérise la forme de la distribution de fréquence, alors que C détermine la qualité du vent. Ces derniers sont déterminés par la Méthode du Facteur d'Energie EPF. Cette méthode est l'une des plus précises et efficaces pour la détermination des valeurs de C et K [1, 3].

K désigne le facteur de forme déterminé par la relation (2).

$$K = 1 + \frac{3.69}{(E_{pf})^2} \quad (2)$$

Avec E_{pf} l'énergie de facteur obtenue en fonction de la vitesse instantanée v_i par la relation (3) [1, 3]

$$E_{pf} = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i^3}{\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i\right)^3} \quad (3)$$

C désigne le facteur d'échelle qui détermine la qualité du vent et se donne en m/s par la relation (4):

$$C = \frac{v_m K^{2.6674}}{0.184 + 0.8116 K^{2.73855}} \quad (4)$$

3.2.2 Extrapolation de la vitesse du vent en fonction de la hauteur

Afin d'avoir des vitesses adéquates pour le fonctionnement des éoliennes, on effectue des extrapolations afin d'augmenter la vitesse du vent. On utilise la relation (5) [2, 6, 9]:

$$v(z_2) = v(z_1) \times \left(\frac{z_2}{z_1} \right)^\alpha \quad (5)$$

$$\alpha = \frac{1}{\ln\left(\frac{\bar{z}}{z_0}\right)} - \left(\frac{0.0881}{1 - 0.00881 \times \ln(z_1)/z_0} \right) \times \ln\left(\frac{v(z_1)}{6}\right) \quad (6)$$

$$\bar{z} = \sqrt{z_1 \times z_2} \quad (7)$$

$v(z)$, est la vitesse de référence mesurée à 10 mètres; z_1 et z_2 , désignent respectivement les hauteurs à 10 m. et aux valeurs variables supérieures à 10 m.; z_0 , la rugosité du sol.

3.2.3 Extrapolation des paramètres de Weibull en fonction de la hauteur

A partir des paramètres K et C calculé à 10 mètres du sol, on fait une extrapolation en fonction de la hauteur où on veut installer les éoliennes. On se sert des formules suivantes [6, 9]:

$$n = (0.37 - 0.088 \ln(C_{10})) \quad (8)$$

$$k_z = \frac{k_{10}}{1 - 0.00881 \ln(z/10)} \quad (9)$$

$$C_z = C_{10} \times (z/z_{10})^n \quad (10)$$

z , représente la hauteur où on voudrait installer les éoliennes. Et C_z et K_z , les paramètres correspondants.

3.2.4 Densités de puissance éolienne : W(PD)

Elle permet d'estimer la puissance récupérable sur un site. Elle s'obtient par:

$$\text{WPD} = p(v) = \frac{P(v)}{S} = \frac{1}{2} \rho \times v^3 \times \Gamma(x) \quad (11)$$

Γ , est une fonction qui caractérise la forme de la distribution de fréquence et la dissymétrie de la distribution des fréquences de vitesse, elle est donnée par la relation.

$$\Gamma(x) = \left(\sqrt{2\pi x} \right) \left(x^{x-1} \right) \left(e^{-x} \right) \left(1 + \frac{1}{12}x + \frac{1}{288}x^2 - \frac{139}{51840}x^3 + \dots \right) \quad (12)$$

$$x = 1 + 3/K \quad (13)$$

Le WED (Wind Energy Density) est un paramètre très important, il permet de quantifier l'énergie produite pendant un temps T par les éoliennes ou le parc. Il faut noter que le temps T dépend du facteur de disponibilité et du facteur de charge. Sa formule est la suivante:

$$\text{WED} = p(v) T = \frac{P(v)}{S} T = \frac{1}{2} \rho \times v^3 \times \Gamma(x) T \quad (14)$$

Le choix des turbines est très complexe. Si on ne choisit pas les éoliennes adéquates, ils ne pourront pas produire l'énergie dont on évite cette difficulté en calculant le facteur de charge avant de choisir une éolienne.

3.2.5 Facteur de charge

Pour le calcul du facteur de charge (FC), on utilise la relation (18). Cette formule tient compte de 05 paramètres. Deux qui dépendent du site choisis (les facteurs de forme K et d'échelle C) et trois qui sont fournis par le constructeur de l'éolienne

(vitesse de démarrage V_D , vitesse nominale V_N et la vitesse d'arrêt de l'éolienne V_A) [5, 11].

$$FC = \frac{\exp\left(-\left(\frac{V_D}{C}\right)^k\right) - \exp\left(-\left(\frac{V_N}{C}\right)^k\right)}{\left(-\left(\frac{V_N}{C}\right)^k\right) - \left(-\left(\frac{V_D}{C}\right)^k\right)} - \left(-\left(\frac{V_A}{C}\right)^k\right) \quad (15)$$

Si nous obtenons un facteur de charge de 25 % au moins, on peut parler de la production électrique des éoliennes [5, 11].

3.2.6 Dimensionnement du parc éolien

Afin d'optimiser l'exploitation des parcs éoliens, certaines mesures doivent être prises en compte. En effet, un mauvais choix de certains paramètres pourra porter préjudice à une installation éolienne. Afin d'éviter le phénomène de sillage, on tient compte de l'espacement des éoliennes pour l'éviter [5, 7]. L'installation des éoliennes sur un site doit tenir compte des dimensions du terrain perpendiculaire et parallèle à la direction prédominante du vent. Les conditions à respecter sont les suivantes [5]:

$$(N_1 + 1) \times 10H < IN \quad (16)$$

$$(N_2 + 1) \times 3D < L \quad (17)$$

$$N = N_1 \times N_2 \quad (18)$$

I, Dimension du terrain perpendiculaire à la direction prédominante du vent; L, Dimension du terrain parallèlement à la direction prédominante du vent; D, Diamètre du rotor de la machine; H, Hauteur du pylône; N_1 , Nombre d'aérogénérateurs par rangée; N_2 , Nombre de rangée d'aérogénérateurs; N, Nombre total d'aérogénérateurs à placer sur le site.

4. RESULTATS ET DISCUSSION

4.1 Potentiel éolien du site de Mont de Tinguelin

A partir des vitesses obtenues par WindPro sur la période allant de Janvier 2011 à Mars 2016, la variation moyenne du vent mensuelle aux coordonnées géographiques 9.4123117, 13.448883 (latitude, longitude) et à la hauteur de 10 m est présentée par la figure 2. Elle ressort également les courbes des variations moyennes du vent mensuel en fonction du mois et de la hauteur sur la montagne. L'analyse de ces courbes décrit une augmentation de la vitesse du vent en fonction de la hauteur. Ces courbes moyennes présentent la même allure. Les mois de Mars, Avril et Juillet se montrent plus intéressants, alors que les mois de Janvier et Septembre sont critiques. Les hauteurs de 100 m, 150 m, 200 m et 250 m présentent des vitesses comprises entre 5.83 m/s et 9.66 m/s, favorables à la production de l'électricité.

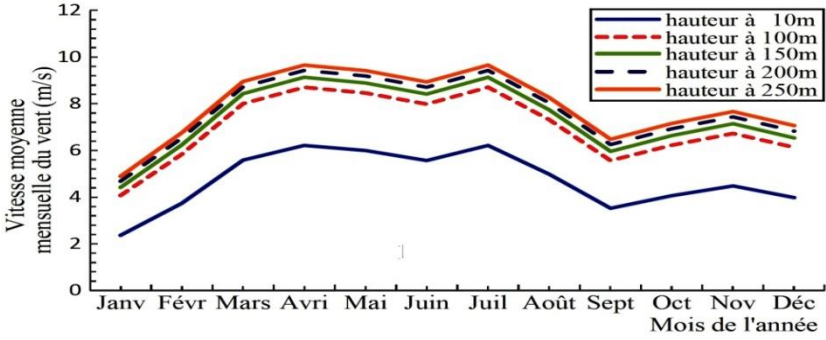


Fig. 2: Variation aux différentes hauteurs de la montagne des vitesses moyennes mensuelles des vents

4.2 Distribution de la vitesse du vent

La distribution de Weibull des fréquences des vitesses du vent à l'échelle mensuelle pour le site est représentée par les courbes de la figure 3. L'analyse de la figure fait ressortir 06 mois de bonne production (de Mars à Août) et 06 mois de faible production (de Septembre à Février).

On remarque à 10 m de hauteur que 14 % des données de vitesses sont à 2 m/s et 10 % seulement sont dans la gamme de 4 m/s à 10 m/s et l'intervalle de vitesse s'étend faiblement jusqu'à 14 m/s. Ces résultats sont conformes à ceux de Kidmo [1, 3] et Tchinda [10]. Cette figure montre que la vitesse moyenne est entre 3 et 5 m/s, ce qui permet une production d'électricité, mais avec une faible disponibilité.

L'éolien aura du mal à atteindre sa puissance nominale d'où la nécessité d'extrapolation afin d'obtenir les vitesses favorables. L'extrapolation verticale des vitesses de vent est ainsi faite pour des hauteurs de 100 m, 150 m, 200 m et 250 m entrainant une variation du mode de distribution du vent (figure 2).

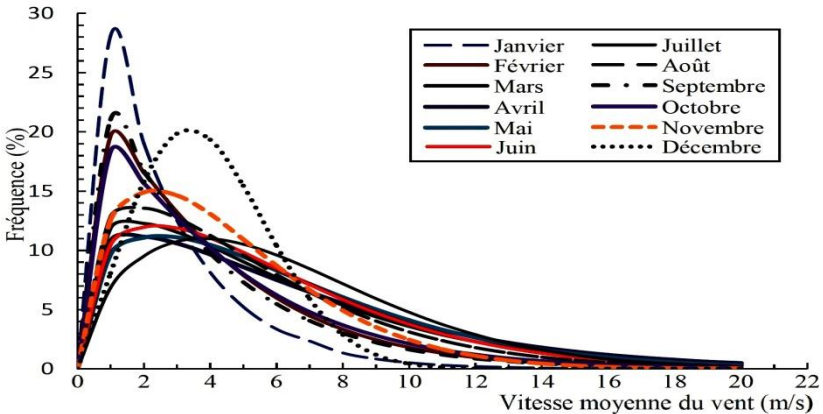


Fig. 3: Courbes mensuelles de distribution des fréquences des vitesses des vents à 10 m d'altitude du site de Tinguelin

4.3 Orientation des éoliennes

La figure 4 présente la rose des vents du site. Chaque vitesse de vent correspond à une direction bien précise.

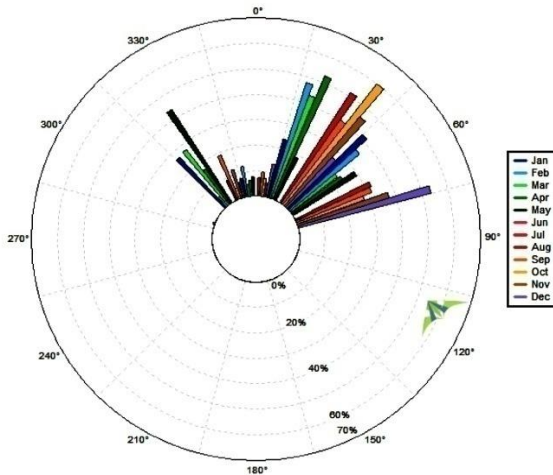


Fig. 4: Rose des vents du mont Tinguelin

L'observation et l'analyse des statistiques du vent montrent qu'il y a prédominance du vent dans l'intervalle des directions Nord-Nord-Est (NNE) à Est-Nord-Est (ENE). La plus élevée en revanche, est enregistrée dans la direction Est-Nord-Est (ENE). En outre, cet intervalle est le plus gros contributeur à l'énergie totale. Malgré une fréquence des vitesses importante au secteur Nord-Ouest (NO) à Nord-Nord-Ouest (NNO), la vitesse moyenne du vent reste faible, (figure 4).

La figure 5 montre la distribution de Weibull des vents annuels à 10 m et la rose des vents sur le site. L'analyse de cette courbe traduit la probabilité élevée pour les vitesses de vent allant de 3 et 5 m/s. Quant à la rose des vents annuels à 10 m dans le site, on observe une domination de la direction du vent entre 315° et 75°. La direction dominante est NE (Nord Est) et ENE (Est Nord Est). L'intérêt de ces figures est de faire de meilleures extrapolations afin d'obtenir des vitesses favorables à la production de l'énergie électrique et à l'orientation des aérogénérateurs.

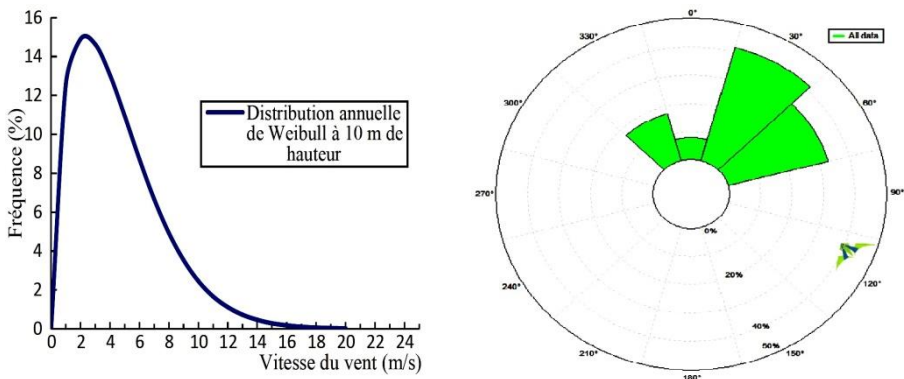


Fig. 5: Courbe de la distribution de Weibull et rose des vents annuelle au Mont Tinguelin

4.4 Choix de la technologie d'aérogénérateur plus adaptés

Les pâles se situant au niveau du moyeu, on doit tenir compte de la hauteur du mât de l'éolienne pour les calculs de puissance. Quatre types d'éolienne ont été choisis afin de savoir quel type d'éolienne va plus produire de l'énergie. Le **Tableau 2** donne les caractéristiques des éoliennes. On a le type d'éolienne, l'entreprise de fabrication, le

pays de fabrication, la puissance, le diamètre du rotor, la hauteur du mât et les vitesses de fonctionnement. Afin de ressortir le modèle du parc avec une éolienne réelle, on a sélectionné quatre (04) types d'éolienne, 02 de moyenne puissance et 02 de grande puissance.

Tableau 2: Types d'éoliennes sélectionnées pour le modèle du parc

Caractéristiques	V 15 50 Vergnet (F)	Enercon E33-330 (A)	YDF-1500-87 CNYD (C.)	Enercon E82-2000 (A)
Hauteur - mât (m)	60 m	50 m	75 m	130 m
Puissance (kW)	50	330	1500	2000
Diamètre (m)	15.2	33.4	87	82
V_D (m/s)	2.5	2.5	3	2.5
V_N (m/s)	10	13	10.2	12.5
V_A (m/s)	25	25	25	25

Les figures 6a et 6b présentent les variations de la densité de puissance respectivement aux hauteurs 100 m et 250 m en fonction du mois suivant chaque type d'éolienne. Les courbes décrivent la même allure à la seule différence, que plus on va en hauteur, plus on obtient une meilleure densité. Les mois allant d'Avril à Juillet présentent les grandeurs élevées en densité de puissance. L'intervalle des bons gisements éoliens correspond au période du délestage, ce qui présente un atout pour le projet.

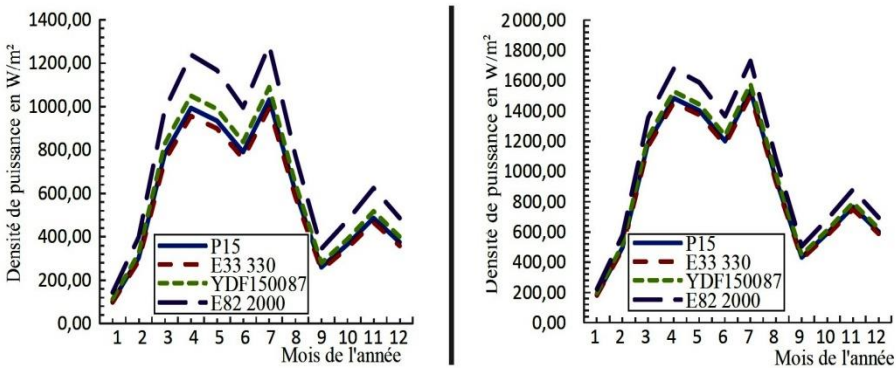


Fig. 6: Variations de la densité de puissance du site à 100 m et à 250m de hauteur

La figure 7 présente la variation de la densité de puissance en fonction de la hauteur de la montagne et du type de l'éolienne. Cette densité varie entre 367 et 680 W/m² pour une hauteur de 100 mètres. Pour un même type de machine, cette densité varie de 722 à 980 W/m² pour une hauteur de 250 mètres. Il faut noter que la hauteur au niveau des machines est la somme de la hauteur de la montagne et de la hauteur du moyeu.

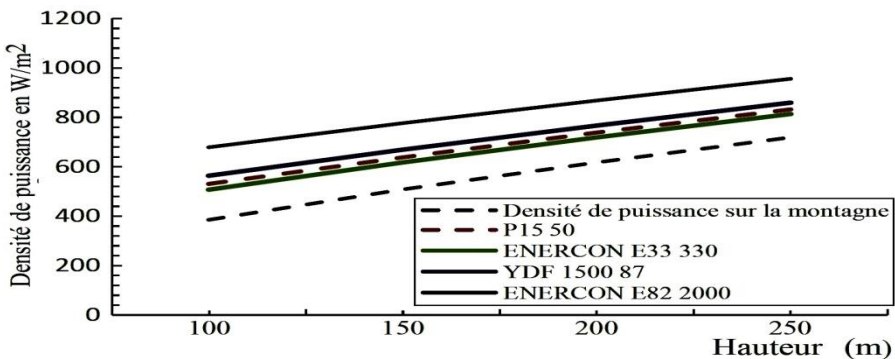


Fig. 7: Variation de la densité de puissance en fonction de la hauteur et du type d'éolienne

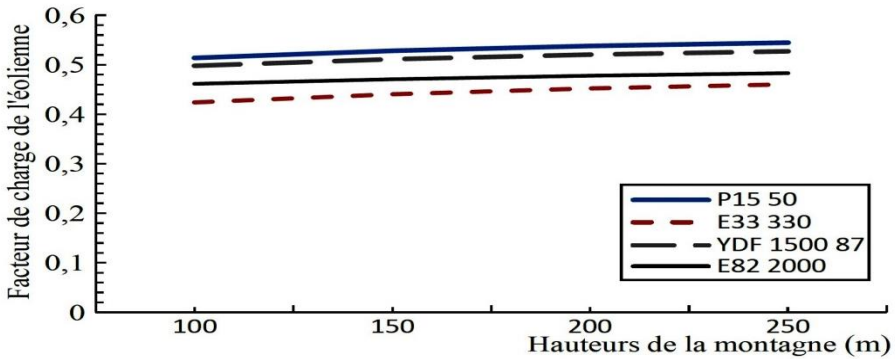


Fig. 8: Variation du facteur de charge en fonction de la hauteur de la montagne et du type d'éolien

La figure 8 montre la variation du facteur de charge en fonction de la hauteur et du type d'éolienne. Le facteur de charge croît avec la hauteur de la montagne. Il varie entre 0.43 et 0.57, ce qui est acceptable une production énergétique.

En tenant compte des dimensions du site présenté par la figure 1 et de la disposition adaptée des éoliennes d'après les formules 14, 15 et 16, on obtient les résultats du **Tableau 3**. Il regroupe les nombres d'éoliennes installées sur le site en fonction de leurs hauteurs et leurs diamètres.

L'éolienne meilleure à installer est le type Enercon 33 330, non seulement à cause de son mât qui est de 130 mètres, mais présentant également le facteur de charge variant entre 0.42 et 0.46. Cette éolienne est une moyenne éolienne, il y aura pas des problèmes de logistique. En plus. Il est au dessus de la référence, donc nos éoliennes vont produire une fois installées. On installe 31 modèles sur la montagne et on produit environ 10.23 MW.

Tableau 3: Nombres d'éoliennes et puissances par type de modèle

Modèle éolienne	V 14 50	E33-330	YDF-1500-87	YDF-1500-87
N1	6	7	4	
N2--Bloc 1	12	5	1e	Hauteur
N2--Bloc 2	17	6	2	élevée -
N2--Bloc 3	8	3	1	Problème de
Totaux	74	31	5	turbulence
Puissance parc	3.7	10.23	7.5	

La figure 9 présente les largeurs du site en fonction des blocs. Le bloc 1 est de 606 m, le bloc 2 est de 1040 m et enfin le bloc 3 est de 432 m.



Fig. 9: Les différentes largeurs du site

4.5 Modélisation du parc éolien

La figure 10a présente l'éolienne E33 330 d'ENERCON et le type de disposition favorable des machines pour le site. Cette disposition de l'orientation des machines dépend, de la direction vent (figure 10b).

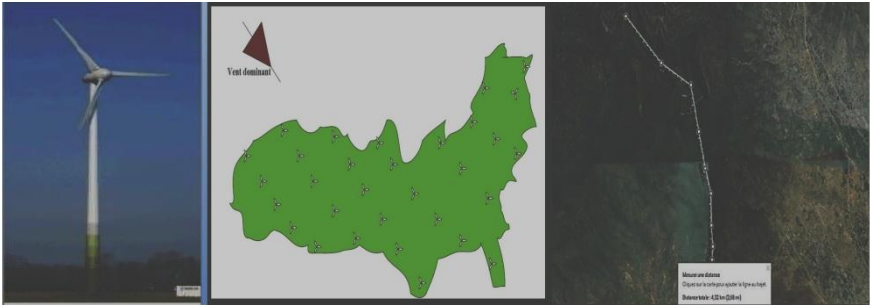


Fig. 10: Disposition des éoliennes sur le site

La figure 10c donne la direction de l'aire d'étude où seront installées les éoliennes. Cette longueur est tracée à l'aide du logiciel Google Mapp. La longueur du site est de 4.32 km.

4.6 Prédiction d'énergie à partir du modèle choisis

La figure 11 fait ressortir la production électrique annuelle de l'éolienne sur le site aux différentes hauteurs. Cette énergie est maximale entre les mois de Mars et Août. Elle est faible aux mois de Septembre et Janvier. Le bilan annuel de la production énergétique est de 500 MWh minimale et 2800 MWh maximale. La moyenne est de 1780 MWh.

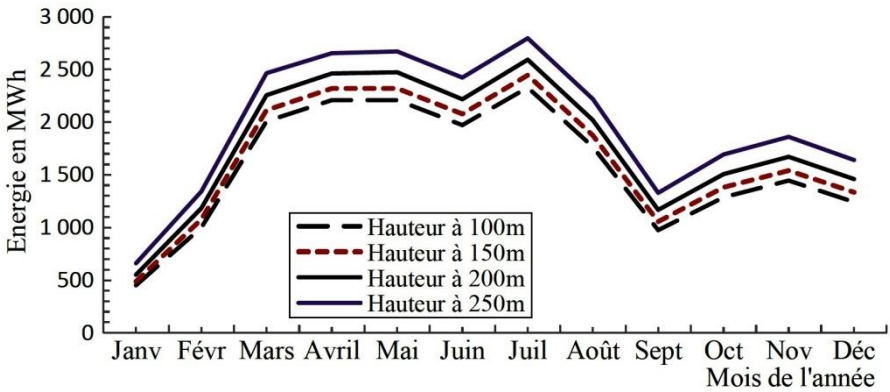


Fig. 10: Variation de l'énergie mensuelle produite par l'éolienne pour chaque mois de l'année

5. CONCLUSION

Le présent travail permet d'étudier le potentiel du gisement éolien et d'évaluer la production énergétique du Mont Tinguélin. Il ressort que le vent est régulier et se propage suivant la direction directions Nord-Nord-Est (NNE), avec des vitesses moyennes stables entre de 2 m/s et 3 m/s à l'altitude de 10 m. L'obtention des meilleures vitesses moyennes des vents de 4 à 6 m/s, favorable à une bonne production électrique est faite par extrapolation en altitude de 100 m, 150 m, 200 m et 250 m correspondantes aux hauteurs des mâts.

Cette étude prédit l'énergie éolienne du parc en question, en se basant sur un choix judicieux de la machine, en tenant compte des dimensions du site, l'éolienne de type ENERCON E33 330 est choisie. Le potentiel éolien de ce site à 130 m de hauteur présente une vitesse moyenne de 6.85 m/s et une densité d'énergie de 617.68 W/m² pour la direction privilégiée. L'installation de 31 machines sur le site donne une puissance de 10.23 MW pour une production énergétique annuelle de 22322 MWh.

NOMENCLATURE

ASECNA, Agence pour la sécurité de la navigation aérienne en Afrique et à Madagascar	
V, Vitesse mensuelle moyenne du vent, m/s	P(v), Puissance donnée à la vitesse v par aérogénérateur, W/m ²
E, Energie produite, kWh Madagascar	f(v), Fréquence de la vitesse de vent
K, Facteur de forme de la courbe	C, Facteur d'échelle de la courbe, m/s
I, Dimension du terrain perpendiculaire à la direction prédominante de vent	N, Nombre total d'aérogénérateur à placer sur site
ρ , Densité de l'air, kg/m ³	T, Temps, h
Γ , Forme de distribution de fréquence	WPD, Puissance récupérable sur site
N ₁ , Nombre -aérogénérateur / rangée	N ₂ , Nombre de rangée -aérogénérateur
H, Hauteur de mesure sur le mont	Epf, Méthode du facteur d'énergie
z, Altitude de mesure de la vitesse	L, Dimension du terrain parallèlement à la direction prédominante du vent

REFERENCES

- [1] D.K. Kidmo, N. Djongyang, S.Y. Doka, and D. Raidandi 'Assessment of Wind Energy Potential for Small Scale Water Pumping Systems in the North Region of Cameroon', International Journal of Basic and Applied Sciences, Vol3, N°1, pp. 38 - 46, 2014.
- [2] F. Boukli Hacène, N. Kasbadji Merzouk et L. Loukarfi, 'Analyse Statistique et Elaboration d'un Atlas Eolien de la Vallée du Cheliff', Revue des Energies Renouvelables, Vol. 10, N°4, pp. 583 – 588, 2007.
- [3] D.K. Kidmo, R. Danwe, S.Y. Doka, and N. Djongyang, 'Statistical Analysis of Wind Speed Distribution Based on Six Weibull Methods for Wind Power Evaluation in Garoua, Cameroon', Revue des Energies Renouvelables, Vol. 18, N°1, pp. 105 - 125, 2015.
- [4] M. Kazet, R. Mouangue, A. Kuitche, J.M. Ndjaka et S. Takam, 'Modélisation et Simulation Numérique des Données de Vent en Vue d'une Prédiction de l'Energie Electrique d'origine Eolienne: Cas d'un Site de la Ville de Ngaoundéré au Cameroun', Revue des Energies Renouvelables, Vol. 16, N°3, pp. 527 - 538, 2013.
- [5] H. Faïda, J. Saadi, M. Khaïder, S. El Alami et M. Monkade, 'Etude et Analyse des Données de Vent en Vue de Dimensionner un Système de Production d'Energie Eolienne- Cas d'un Site au Nord du Maroc', Revue des Energies Renouvelables, Vol. 13, N°3, pp. 477 – 483, 2010.
- [6] 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 à Cotonou dans le Golfe de Guinée', Revue des Energies Renouvelables, Vol. 17, N°3, pp. 489 - 495, 201.

- [7] D. Hamane et O. Guerri, '*Caractérisation de Sillage d'une Eolienne Isolée et l'Interaction entre Deux Eoliennes Danwin-180 kW*', Revue des Energies Renouvelables, Vol. 17, N°1, pp 13 – 28, 2014.
- [8] R. Maouedj, S. Bousalem et B. Benyoucef, '*Etude des Performances d'un Système Eolien, Application pour des Sites Algériens*', 13^{èmes} Journées Internationales de Thermique, Albi, 2007.
- [9] A. Belguidoum, '*Les Aspects Technologiques des Eoliennes et leur Utilisation dans la Production d'Energie en Zones Arides*', Mémoire, Faculté des Technologies, Université Abou bekr Belkaid, Tlemcen, 2014.
- [10] R. Tchinda, J. Kendjio, E. Kaptouom and D. Njomo, '*Estimation of Mean Wind Energy Available in Far North Cameroon*', Energy Conversion and Management, Vol. 41, N°17, pp. 1917 - 1929, 2000.
- [11] A. Kébé, '*Contribution au Prédimensionnement et au Contrôle des Unités de Production d'Energie Electrique en Site Isolé à Partir des Energies Renouvelables: Application au Cas du Sénégal*', Thèse de Doctorat, Université Paris-Sud, 2013.