

Modélisation, Dimensionnement et Estimation de production d'un parc éolien dans la région D'Oran

Abderrahim BENFEKIR¹
Fatima Zahra GHAZLI²
Abdellatif HASSINI³

^{1 2 3}Laboratoire d'Ingénierie en Sécurité Industrielle et Développement Durable
Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle,
Université d'Oran-2 Ahmed Ben-Ahmed,
BP 1524 Oran, Algérie.

Reçu : 15/05/2023,

Accepté: 19/07/2023,

Publié: 30/07/2023

Résumé : Ce travail est le résultat d'une étude, d'investigations scientifiques, d'analyses des concepts et des modèles pour le choix le plus judicieux d'une assiette propice, capable de recevoir une ferme éolienne, qui répond aux normes de sécurité, de l'environnement et de la production énergétique. Ce travail est mené avec une conduite et méthodologie à travers la modélisation, les modèles de connaissances, la récolte des données et leurs exploitations pour diverses variantes, pour aboutir ainsi, à un choix unique parmi toutes les variantes étudiées. Dans ce contexte, ce travail s'adresse aux études d'intégration d'une ferme éolienne dans la région d'Oran. En premier lieu, l'étude est basée sur une méthodologie complète pour étudier et estimer la ressource éolienne en tenant compte des données météorologiques. Au fait, cette évaluation s'appuie sur la fonction probabiliste de la distribution de Weibull qui entraîne la connaissance détaillée de la vitesse et la densité de puissance éolienne moyenne annuelle de vent de la région. Ces modèles de dimensionnement ont été ensuite introduits dans un programme Matlab/Simulink qui fait office de simulations, d'optimisations et de conception d'un projet éolien. Cette technique a permis le dimensionnement de la ressource éolienne disponible sur la région d'Oran.

Mots-clés : Modélisation, Estimation, Dimensionnement, Eoliens, Analyse Datas, Conception d'éolien.

Abstract: This work is the result of a study, scientific research, analysis of concepts and models for the most judicious choice of a suitable dish, capable of receiving a wind farm, which meets safety, environmental and energy production standards. This work is carried out with a conduct and methodology through modeling, knowledge models, data collection and their exploitation for different variants, in order to arrive at a single choice among all the variants studied. In this context, this work is aimed at integrating studies of a wind farm in the Oran region. First, the study focused on a comprehensive methodology for studying and estimating wind resources based on metrological data. By the way, this assessment is based on the probabilistic function of the Weibull distribution which results in the detailed knowledge of the annual average wind speed and power density of the region. These design models have been introduced into a Matlab/Simulink program that acts as simulations, optimizations and design of a wind project. This technique has made it possible to size the wind resources available in the Oran region.

Keywords: Modeling, Estimation, Sizing, Wind turbines, Data analysis, Design of a wind project.

¹E-mail: benfkir.abderrahim@univ-oran2.dz

²E-mail: ghazlif33@gmail.com

³E-mail: abdelatif_hassini@yahoo.com

1. Introduction

Il est nécessaire d'avoir une description plus proche et plus complète du fonctionnement réel de l'éolienne afin d'avoir une modélisation plus fine du fonctionnement du système éolien et de son interaction avec le vent. La modélisation dépend de l'existence de cartes topographiques numérisées et de données antérieures ou récentes sur la vitesse du vent et la topographie du sol terrestre spécifique à la région étudiée.

En Algérie, les premiers travaux sur le potentiel éolien ont été publiés par Said (Said et al.) en 1984, suivis par Benssad (Benssad, 1985), Hammouche en 1990 (Hammouche, 1990). D'autres travaux récents ont été contribués par Benmejahed (Benmejahed et al., 2014), Hadjij (HADJII, 2019) et dans l'échèle mondiale, on trouve un travail plus récente (Breyer et al., 2022) qui résume l'historique et démontre le futur avenir des systèmes à énergie renouvelable.

Dans ce travail, nous sommes limités uniquement à l'étude et l'analyse de la turbulence du vent dans différentes région de la Willaya d'Oran où une banque de données météorologiques des vitesses du vent mensuelles est mise à notre disposition des deux sites : Es- Sénia, Arzew d'Oran durant la période des années 1995-2005. L'étude de site comporte plusieurs emplacements optimaux qui peuvent accueillir plusieurs éoliennes disposés d'une façon à maximiser la production annuelle énergétique et minimiser les pertes d'énergie permettant d'envisager très sérieusement la modélisation du système éolien.

2. Modélisation et Techniques de dimensionnement

Le potentiel éolien dans une région donnée se calcule à partir des distributions de la vitesse moyenne de vent. La modélisation de la distribution de vitesse du vent se fait à partir de plusieurs modèles présents dans la littérature qui sont utilisés pour ajuster les distributions de la vitesse du vent sur une période de temps bien déterminer. Le modèle le plus utile est la distribution de probabilité de Weibull (Benretem et al, 2013) en raison des avantages d'utilisation des deux paramètres k et c .

2.1 Fonction de distribution des vitesses de Weibull

On peut opter pour le modèle de Weibull à des périodes allant de quelques semaines jusqu'à une année. La fonction de Weibull représente raisonnablement les vitesses de vent observées. Il s'agit d'une fonction de densité de probabilité, s'exprimant sous la forme :

$$P(V) = \left(\frac{k}{c}\right) \left(\frac{V}{c}\right)^{k-1} \exp\left(-\left(\frac{V}{c}\right)^k\right) \quad (1)$$

Avec,

$P(V)$: est la densité de probabilité de la vitesse V ,

K : est le facteur de forme de la courbe (sans dimension), Il représente la nature (variabilité ou stabilité) du vent et caractérise la forme de la distribution de fréquence. Sa valeur varie entre (1,51 à 2,99) (Solari, 1984), une faible valeur de k correspond à un vent très variable ou à des rafales, cependant une grande valeur de k correspond à un vent modéré et indique un vent stable et régulier,

C : est le facteur d'échelle qui détermine la qualité du vent. Il est étroitement lié à la vitesse moyenne du vent et exprimé en (m/s),

Ces deux paramètres peuvent être calculés suivant la méthode de l'écart-type de la vitesse moyenne du vent comme suit (Solari, 1984) :

$$\begin{cases} C = \frac{1.125 V_{moy}}{1-B} \\ K = 1 + 0.483(V_{moy} - 2)^{0.25} \\ B = 1 - 0.81(V_{moy} - 1)^{0.089} \end{cases} \quad (2)$$

Cette fonction densité de probabilité s'appelle la distribution de Rayleigh, lorsque $K = 2$. La vitesse moyenne du vent peut être trouvée en intégrant la fonction densité de probabilité, soit donc la formule :

$$V_{moy} = \int V \cdot \left(\frac{K}{C}\right) \left(\frac{V}{C}\right)^{K-1} \exp\left(-\left(\frac{V}{C}\right)^K\right) dv \quad (3)$$

Ainsi, la distribution de Weibull peut faciliter beaucoup de calculs rendus nécessaires par l'analyse des données du vent.

2.2 Techniques de dimensionnement :

- Puissance éolienne :

$$P = \frac{1}{2} \rho \cdot S \cdot V^3 \quad (4)$$

$$V_{moy} = \sum_{i=1}^n V_i f_i \quad (5)$$

Où,

P : est La puissance du vent s'écoulant avec une vitesse V , capturé perpendiculairement par une surface transversale d'une pale d'une éolienne type à un instant donné,

ρ : est la densité d'air (considéré égal à 1.225 kg/m³ pour une température de 15°C et une pression standard de 1013 mb),

S : est la surface de la pale perpendiculaire au vent. n : le nombre des données disponible de V et $f_i = 1/n$.

- Énergie fournie par un aérogénérateur :

Pour produire une grande quantité d'énergie il importe d'installer une multitude de turbine éolienne constituants une ferme éolienne. Ainsi, l'énergie extraite d'une éolienne peut être calculée en fonction du temps en heure dans une période T par la formule suivante :

$$E = T_h \sum P_i(V) f_i(V) \quad (6)$$

Où,

E : l'énergie produite en kWh,

T_h : la période de temps en heure,

$P_i(V)$: est la puissance en kW donnée par aérogénérateur à la vitesse V_i .

Lorsque plusieurs turbines sont installées en bloc, la turbulence due à la rotation des lames d'une turbine peut affecter les turbines à proximité. Afin de minimiser l'effet de cette turbulence induite par le rotor, un espacement de l'ordre 3 à 4 DT (DT est le diamètre du rotor) est fourni à l'intérieur des rangées.

- Facteur de capacité :

$$Q(\%) = \frac{100 \times P_{moy}}{P_{max}} \quad (7)$$

- Nombre total des éoliennes à placer dans le site (Yong et al., 2003) (Yang et al., 2009) :

Conditions à respecter :

$$\begin{cases} (N1 + 1) \times 10H < I \\ (N2 + 1) \times 3D < L \\ N = N2 \times N1 \end{cases} \quad (8)$$

Où,

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 *H*,

N1 : Nombre d'aérogénérateurs par rangée,

N2 : Nombre de rangée d'aérogénérateurs,

N : Nombre total d'aérogénérateurs à placer sur le site.

3. Modélisation et dimensionnement du projet éolien

Nous nous sommes limités à l'étude et l'analyse de la turbulence du vent dans différentes régions de la Willaya d'Oran où un banque des données météorologique des vitesses du vent mensuelle est mise à notre disposition des sites : Es-Sénia et Arzew durant la période des années 1995-2005. L'étude du site comporte plusieurs emplacements optimaux qui peuvent accueillir plusieurs éoliennes disposés d'une façon à maximiser la production annuelle énergétique et minimiser les pertes d'énergie. Elle Permet d'envisager très sérieusement la modélisation du système éolien.

3.1 Résultats de simulation des données de vent :

Les histogrammes (idem la ligne continue avec étoile) ci-dessous (Fig.1 et Fig. 4.) représentent des vitesses maximales de vent (idem des vitesses moyennes de vent) des régions étudiées (Arzew et Es-Sénia respectivement) durant les années d'observations utilisées (1995-2005). Le repère des *x* décrit les 12 mois de l'année. Le repère des *y* décrit la vitesse en m/s de chaque valeur mesurée de vent. De ces figures, on remarque que la vitesse moyenne du vent pendant la période entre mai et Octobre est stable avec quelques légers changements. Cela provoque la continuité de production d'énergie de manière continue, ininterrompue avec des quantités assez stable. Alors que la vitesse du vent reste instable, c'est clair durant la période entre Novembre et Avril, et cela peut s'expliquer par des attentes à la sécurité des aérogénérateurs, mais aussi la production d'énergie est garantie.

Pour optimiser ce travail, nous avons résumé notre étude en calculant la vitesse moyenne du vent pour chaque mois à travers les données des années disponible pour chaque moi séparément (voir les fig. 2 et Fig. 5). Les figures (Fig. 3) et (Fig. 6) présentent le bilan prédictif de puissance maximale et minimale qui peut être produite par une éolienne basée sur le choix adéquat de l'aérogénérateur.

L'analyse des courbes des figures (Fig.1 au Fig. 5) provoquent que la puissance de sortie d'une éolienne dépend du profil de vent d'un site et des caractéristiques des éoliennes, telles que l'efficacité, la taille et la courbe de puissance (Fig. 7 et Fig. 8). La puissance de sortie augmente quand la vitesse du vent augmente jusqu'à la vitesse nominale à laquelle la puissance de sortie maximale de l'éolienne est atteinte.

Modélisation, Dimensionnement et Estimation de production d'un parc éolien dans la région D'Oran
 Abderrahim BENFEKIR, Fatima Zahra GHAZLI, Abdellatif HASSINI

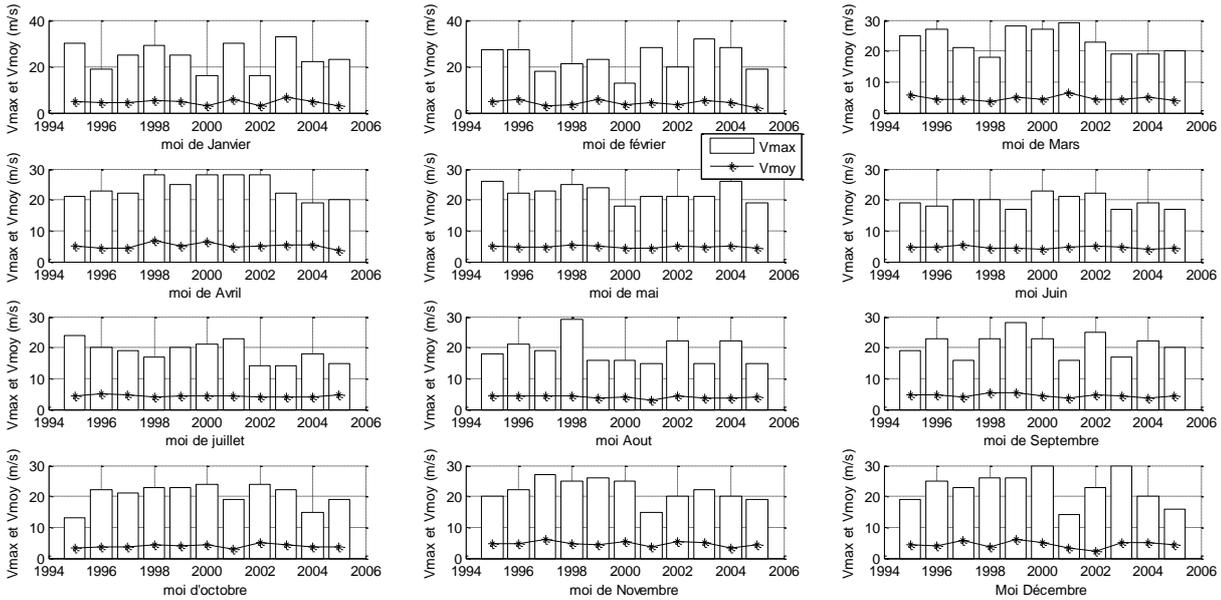


Fig. 1. Les données de vent mensuelle de vitesse maximal et vitesse moyenne durant les années 1995 jusqu'à 2005, Zone d'Oran- Arzew.

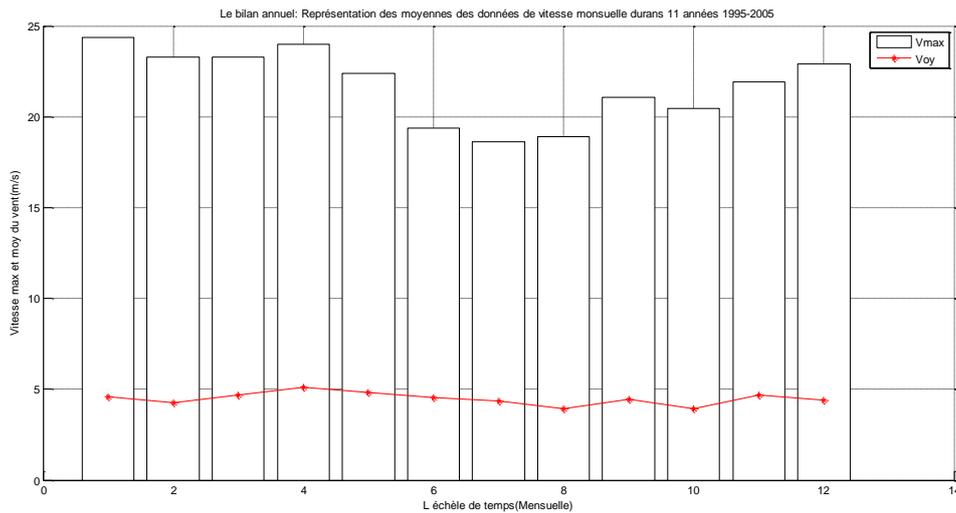


Fig. 2. Le bilan annuel: Représentation des moyennes des données de vitesse mensuelle des 11 années 1995-2005 Zone d'Oran- Arzew.

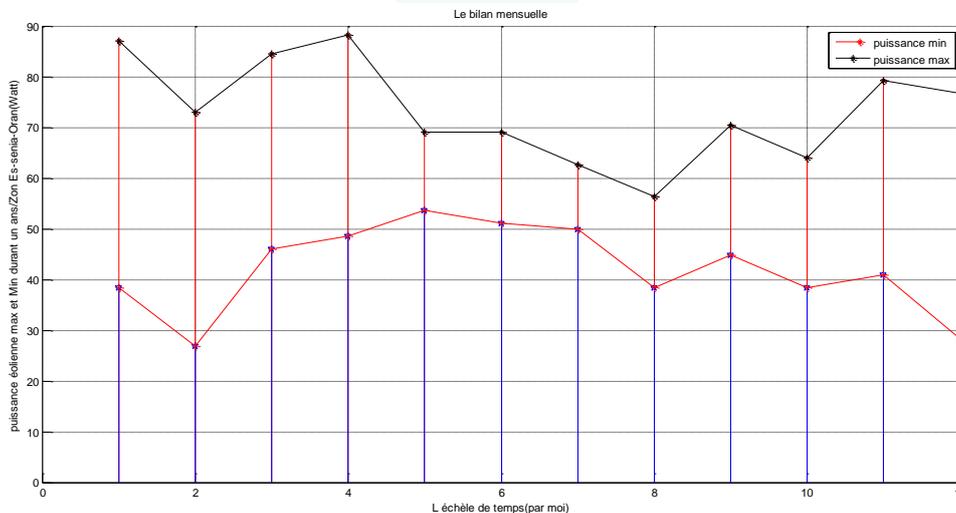
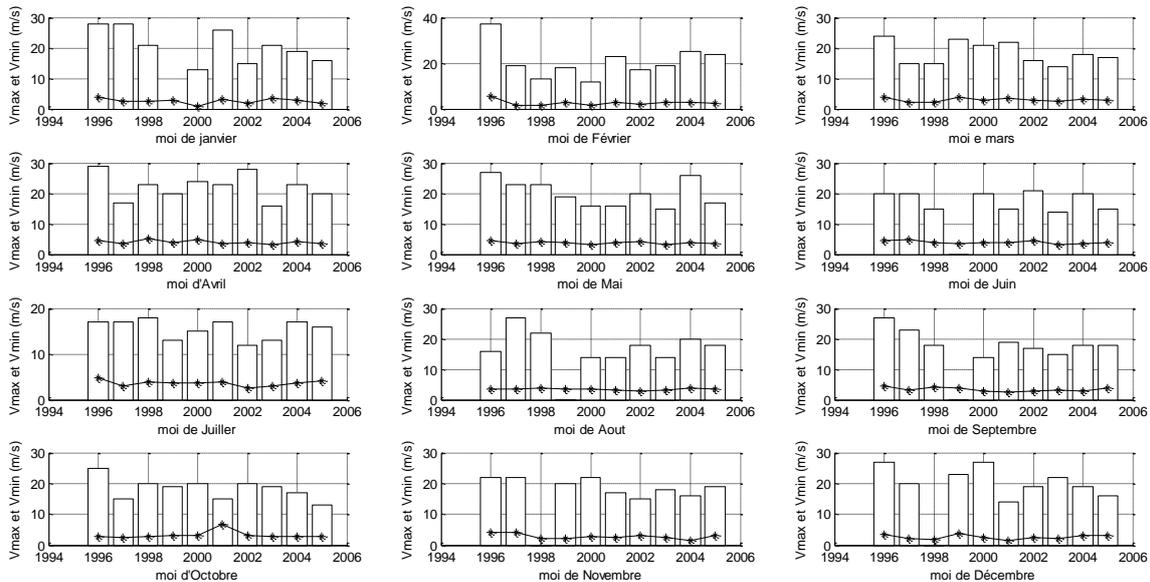
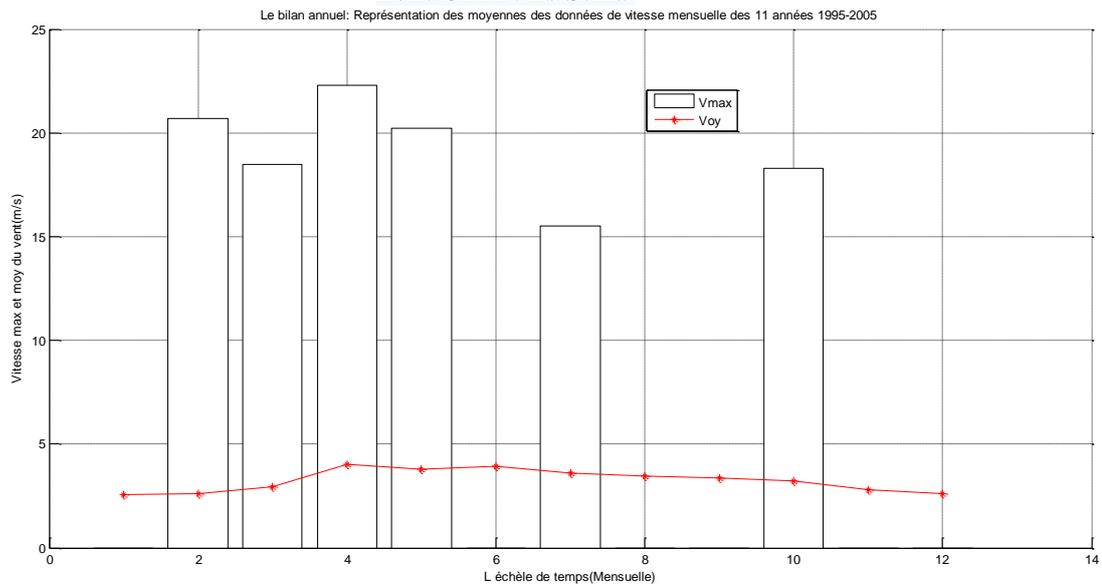


Fig. 3. Prédiction de puissance max et min annuelle produite par un éolien basé sur le choix adéquat de l'aérogénérateur/ Zone d'Oran- Arzew (Watt).**Fig. 4. Les données du vent mensuelles de vitesse maximale et vitesse moyenne durant les années 1995 jusqu'à 2005, Zone ORAN-Es-Senia.****Fig. 5. Le bilan annuel: Représentation des moyennes des données de vitesse mensuelle des 11 années 1995-2005 Zone ORAN-Es-Senia.**

3.2 Analyse des prédictions de puissance et d'énergie produit

Le Tableau ci-dessous (Table. 1) regroupe en fonction des 2 régions d'Oran, les résultats d'analyse des données des vents; les fréquences des vitesses du vent, les paramètres k et c de Weibull, la vitesse moyenne annuelle de vent, la puissance de densité annuelle de vent et la prédiction d'énergie en MW qui est fourni par un aérogénérateur, ainsi que la synthèse de dimensionnement du nombre d'éoliens qui peut supportée dans la ferme éolienne. Le but est de garantir les besoins énergétique de la wilaya d'Oran estimé par 143,83 GW/ ans selon le bilan du juin 2019 déclaré par la société SONALGAZ.

A partir du tableau, on remarque que la densité de puissance annuelle moyenne du vent est 2 MW/m² maximal supportée. Cette valeur désigne que chaque mètre carré en extrapolation horizontale, est

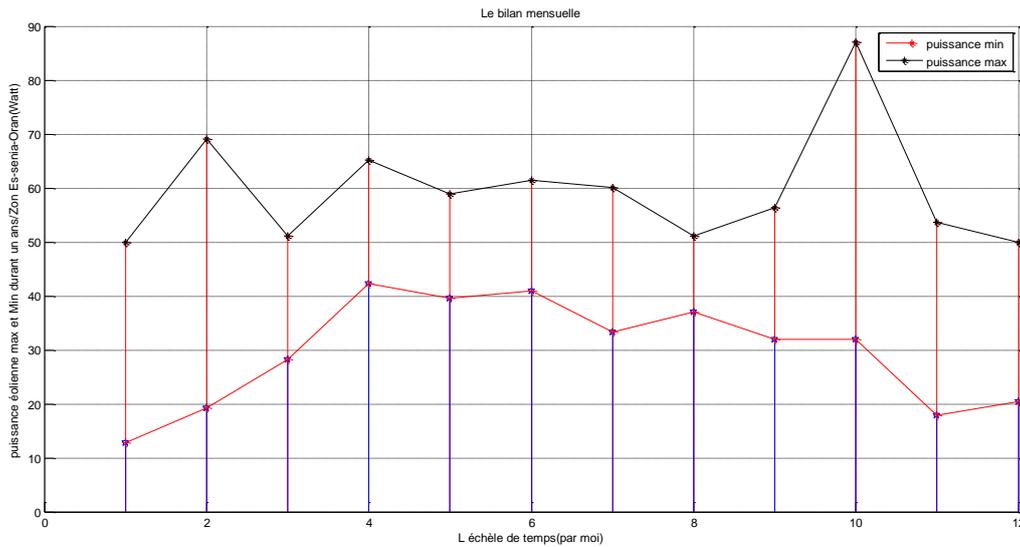


Fig. 6. Prédiction de puissance max et min annuelle produite par un éolien basé sur le choix adéquat de l'aérogénérateur/ Zon Es-senia-Oran(Watt)

Verticale et peut occasionner cette moyenne capacité. Mais vue le fait d'installer plusieurs éoliennes, la surface balayée serait très imposante induisant l'intensification de la puissance récupérée.

Plusieurs autres informations sont déduites à l'égard de cette représentation de Weibull telle que la vitesse moyenne annuelle de vent, la densité de puissance moyenne de vent, les paramètres k et c de Weibull. La vitesse moyenne annuelle du vent et le paramètre c de qualité du vent sont de l'ordre de 45.25 m/s et 43.8 m/s respectivement pour la Zone d'Oran-Arzew et de l'ordre de 49.13 m/s et 40.46 m/s respectivement pour la Zone d'Oran-Es Sénia. Ces valeurs indiquent que la région dispose d'une qualité très moyenne des vitesses du vent. La valeur du paramètre k est estimée de 4 pour les deux zones, indiquant que la région ardente des vents quotidiennement; ce qui présente un fort avantage à l'exploitation éolienne à moyenne échelle. Ces résultats expriment que les sites disposent d'une assez bonne ressource éolienne particulièrement en tenant compte de l'avantage de pénurie des fréquences inférieur à 3m/s.

4. Synthèse d'énergie produit :

La synthèse de cette étude a montré que pour satisfaire le besoin énergétique de la Wilaya d'Oran, on peut avancer trois propositions possibles d'implantation de ferme éolienne :

- Une ferme installée au niveau d'Arzew supporte environ 150000 éolienne de marque Enercon E53/800 avec un facteur de capacité : $Q = 0.75\%$.
- Une ferme installée au niveau d'Es-Sénia qui supporte environ 100000 éolienne de marque Enercon E53/800 avec un facteur de capacité : $Q = 0.67\%$.
- Deux fermes installées dans les deux zones.

Modélisation, Dimensionnement et Estimation de production d'un parc éolien dans la région D'Oran
Abderrahim BENFEKIR, Fatima Zahra GHAZLI, Abdellatif HASSINI

Table 1. Résultats statistiques des données du vent et synthèse de prédiction de puissance et d'énergies

La région	Le mois	résultats d'analyse des données de vent					puissance disponible [W/m ²] * 10 ⁷	Synthèses
		Moyenne des vitesses max durant les années (m/s)	Moyenne des vitesses moyennes. durant les années (m/s)	la densité de probabilité de la vitesse	le facteur de forme <i>k</i>	le facteur d'échelle <i>c</i> (m/s)		
Zone d'Oran- Arzew	01	24.3636	45.8182	0.0113	4.3204	45.3655	1.8500	Énergie fournie par un aérogénérateur = E = 1.00 M W Facteur de capacité : Q = 0.75% Nombre aérogénérateurs = 1.5062e+004
	02	23.2727	42.4545	0.0135	4.1879	42.3280	1.6125	
	03	23.2727	46.7273	0.0090	4.3554	46.1830	1.6125	
	04	24.0000	51.0909	0.0065	4.5185	50.0879	1.7684	
	05	22.3636	48.3636	0.0067	4.4174	47.6510	1.4308	
	06	19.3636	45.4545	0.0057	4.3063	45.0381	0.9288	
	07	18.6364	43.4545	0.0063	4.2278	43.2332	0.8280	
	08	18.9091	39.5455	0.0100	4.0688	39.6837	0.8649	
	09	21.0909	44.4545	0.0083	4.2673	44.1366	1.2002	
	10	20.4545	39.2727	0.0129	4.0574	39.4350	1.0948	
	11	21.9091	46.8182	0.0074	4.3588	46.2647	1.3453	
	12	22.9091	44.1818	0.0110	4.2566	43.8904	1.5381	
Zone d'Oran- Es Sénia	01	23.2000	43.5000	0.0122	4.2296	43.2743	1.5974	Énergie fournie par un aérogénérateur = E = 1.50 M W Facteur de capacité : Q = 0.67% Nombre aérogénérateurs = =9.7637e+003
	02	22.1000	40.6000	0.0140	4.1125	40.6442	1.3808	
	03	21.7000	40.4000	0.0136	4.1042	40.4622	1.3072	
	04	22.9000	44.7000	0.0104	4.2769	44.3580	1.5362	
	05	20.5000	41.3000	0.0105	4.1411	41.2805	1.1021	
	06	19.7000	40.5000	0.0102	4.1084	40.5532	0.9780	
	07	18.1000	39.0000	0.0094	4.0460	39.1860	0.7586	
	08	17.3000	37.8000	0.0095	3.9952	38.0889	0.6624	
	09	19.3000	35.3000	0.0167	3.8866	35.7932	0.9197	
	10	21.8000	34.5000	0.0242	3.8511	35.0556	1.3253	
	11	23.4000	39.3000	0.0185	4.0586	39.4598	1.6391	
	12	24.5000	40.5000	0.0186	4.1084	40.5532	1.8813	

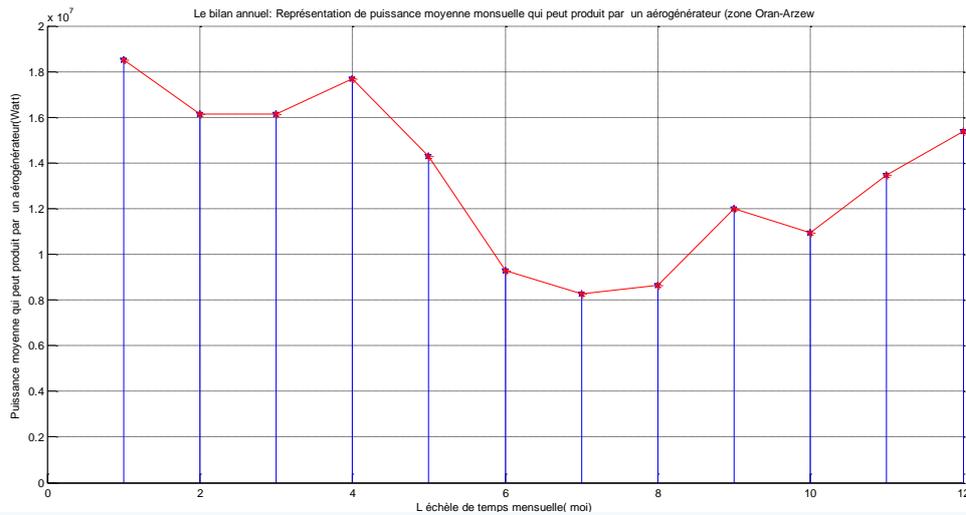


Fig. 7. Bilan annuel de prédiction de puissance moyenne mensuelle produit par un aérogénérateur (Zone d'Oran-Arzew)

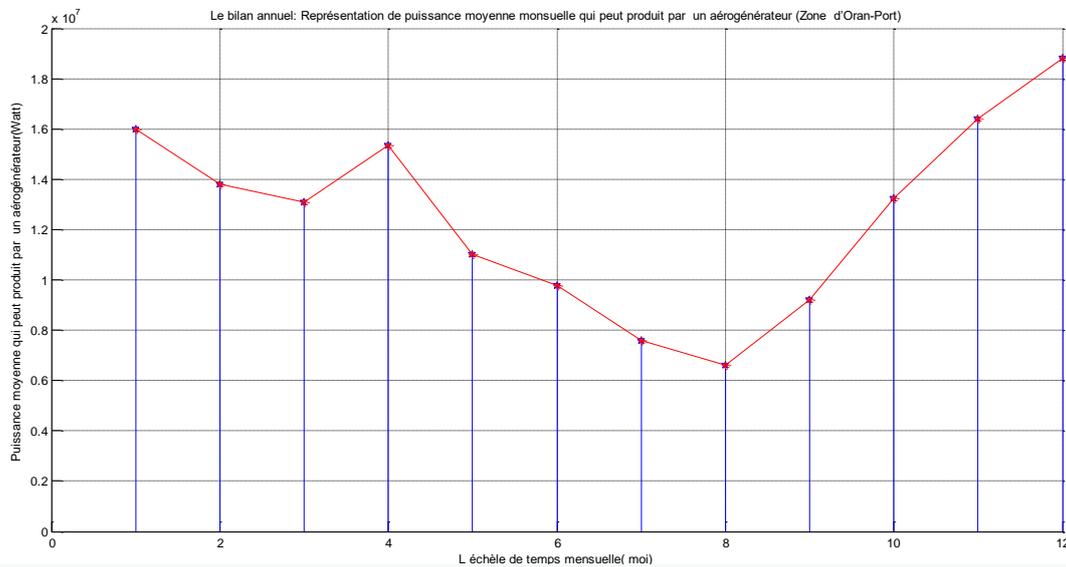


Fig. 8. Bilan annuel de prédiction de puissance moyenne mensuelle produit par un aérogénérateur (Zone d'Oran-Es senia)

5. Conclusion

Ce travail présente des résultats relatifs à l'étude d'un parc éolien dans la wilaya d'Oran caractérisé par deux zones, comprenant aussi l'estimation de la production énergétique annuelle d'une ferme éolienne d'une puissance nominale de 143,83 GW/ ans. La simulation et l'optimisation présentées ont été effectuées par le biais du Logiciel Matlab.

Les vents sont généralement caractérisés par : les vitesses moyennes (horaires, journalières et mensuelles), les directions prédominantes, les fréquences de chacune des vitesses et des directions.

Une bonne connaissance de ces caractéristiques s'avère importante dans la mesure où elles interviennent dans : le choix des aérogénérateurs et l'évaluation de leurs performances et l'implantation.

Références bibliographiques :

- HADJIDJ, M.S., 2019. Conception, modélisation, simulation et optimisation d'un projet d'une ferme éolienne Implantation sur site favorable, thèse, faculté des sciences, dept. Physique, URMER, univ. Tlemcen
- Yang, L., Xie, M., 2003. Efficient Estimation of the Weibull Shape Parameter Based on a Modified Profile Likelihood. *Journal of Statistical Computation and Simulation*. Feb; 73(2):115-123
- Yong, H.X., Burnett, L.U., 2003. Weather data and probability analysis of hybrid PV wind power generation systems in Hong Kong, *Renewable energy* 28(03):1813-1824
- Breyer, C., Khalili, S., BOGDANOV, D., et al. 2022. On the History and Future of 100% Renewable Energy Systems Research, IEE Access, Topical review, open access Journal, vol.10, 29 July, 2022. Doi10.1109/ACCESS.2022.3193402.
- Benmejahed, M., Ghellai, N., Bouzid, Z. , Benmansour, A., Tabet hellal, A.M., 2014. Choix du Site et Dimensionnement d'une installation Eolienne dans le Nord Algérien et son impact sonore, 3ème Séminaire sur les Technologies Mécaniques Avancées Nov. 2014, Conference Paper, uni. Tlemcen.
- Said, M., Ibrahim, A., 1984. Energy in the Arab" World. *Energy*, 9(3):217-38.
- Bensaid, H., 1985. The Algerian program on wind energy"Proceeding of WEAC. Oxford, pp. 21-27.
- Hammouche, R., 1990. Atlas Vent de l'Algérie/ONM, Office des Publications Universitaires (OPU).Alger.
- Benretem, A ., Khalfa, D., Zerari N., 2013. Assessment of the Wind Field in the East Coast Algerian Regions for the Installation of Wind Farms, 16ème Journées Internationales de Thermique, Marrakech (Maroc).
- Solari, G., 1994. Wind Speeds Statistics, Collège on atmospheric Boundary Layer and Air Pollution. ICTP, Trieste, Italie.