

Etude des données du vent et évaluation du potentiel éolien à Nouadhibou (Mauritanie)

S.A. Mohamed ^{1*}, A. Beyoud ^{2†}, C.S. Ethmane kane
¹ D. Zejli ³ et M.O Sid Ahmed ¹

¹ Unité de recherche Nouvelles technologies d'Energie et Systèmes Thermo-fluides, Département de Physique, Faculté des Sciences et Techniques, Université de Nouakchott Al Aasrya, B.P. 5026, Nouakchott, Mauritanie

² Laboratoire des Nano-Structures, Génie des Procédés et Environnement Faculté des Sciences, Université Mohammed V, Rue Ibn Battouta Agdal B.P. 8007, Rabat, Maroc

³ Ecole Nationale des Sciences Appliquées Campus Universitaire B.P. 241, Kenitra, Maroc

(reçu le 10 Septembre 2017 - accepté le 30 Septembre 2017)

Résumé - L'objet de cette étude est d'évaluer le potentiel éolien de la région de Nouadhibou. Deux sources de données ont été utilisées. La première concerne les mesures obtenues par la Société Nationale de l'Industrie Minière (SNIM) pendant une durée de 18 mois à des hauteurs de 50 et 55 m. La seconde porte sur les mesures menées par l'Office National de Météorologie (ONM) de Nouakchott pendant une durée de 15 années à une hauteur de 10 m. La présente étude porte sur la détermination des paramètres de Weibull par plusieurs méthodes en utilisant le logiciel Windographer.

Abstract - The purpose of this study is to assess the wind power at the site of Nouadhibou. The measurements of wind data are made by the National Company of Mining Industry (SNIM) for short-term. The data from the site covers a period of 15 years at a height 10 m above ground level (AGL). They have been made available by the National Office of Meteorology (ONM) Nouakchott. The study was conducted using data tri-zone wind (speed and direction). The study shows that the prevailing winds are oriented to the north-north-west (NNW) direction. It has been found that the Weibull parameters that were determined by the likelihood and standard deviation methods are the most suitable for a better coefficient of determination. Those parameters are obtained for height 50 m above ground level as recommended by USA standard specifications. The wind power is decided as excellent.

Keys words: Energy - Modeling - Potential - Wind.

1. INTRODUCTION

Le gouvernement mauritanien a mis en place un scénario pour l'atténuation des émissions des gaz à effet de serre par l'introduction des énergies renouvelables. Un objectif de 129 MW a été fixé pour la technologie éolienne à l'horizon 2030 [1]. La réalisation d'un tel objectif nécessite au préalable, la détermination du gisement du pays qui servira de guide pour tout promoteur souhaitant investir dans l'éolienne en Mauritanie. La ville de Nouadhibou, située au nord-ouest de la Mauritanie, est considérée comme étant la ville la plus ventée du pays.

Cependant, en raison de l'absence d'un Atlas de vent mauritanien fiable et précis, d'autres études sur l'évaluation de l'énergie éolienne en Mauritanie sont nécessaires.

Les résultats de l'étude présentée par Matthieussent *et al.* [2] estiment que la Mauritanie possède un bon potentiel éolien.

* Sidiahmed.medi@yahoo.fr

† ay.beyoud@gmail.com

2. DESCRIPTION DE LA ZONE D'ETUDE

Nouadhibou est la capitale économique de la Mauritanie et elle est située dans le Nord-Ouest du pays. La ville est située sur le cap Blanc (Ras Nouadhibou) avec les coordonnées géographiques suivantes: Latitude 20°56' Nord, Longitude de 17°02', et avec une élévation de 0 m.

La population est évaluée de près de 118 167 habitants selon le recensement de 2013 [3]. Le secteur économique est dominé par les industries minières et la pêche.

La figure 1 montre la localisation de la ville de Nouadhibou sur la carte, ainsi que ses coordonnées géographiques.



Fig. 1: Localisation de Nouadhibou

3. METHODOLOGIE

L'évaluation du potentiel éolien selon les normes internationales, nécessite des données de mesures de vent à une hauteur bien déterminée. Or les données de mesures de vent sont disponibles majoritairement à une hauteur de 10 m, l'extrapolation à la haute exigée par norme fait intervenir un terme lié à la théorie de la couche limite atmosphérique de Monin Obukhov, qui est la rugosité [4].

L'extrapolation de la vitesse du vent d'une hauteur z_1 à la hauteur z_2 a été étudiée par plusieurs chercheurs, dont notamment Justus *et al.* (1976) [5]. Parmi les formules les plus utilisées dans ce domaine, on trouve le profil logarithmique exprimé par l'équation du profil vertical du vent.

$$V_2 = V_1 \frac{\ln\left(\frac{z_1}{z_0}\right) - \Psi_m\left(\frac{z_1}{L}\right)}{\ln\left(\frac{z_2}{z_0}\right) - \Psi_m\left(\frac{z_2}{L}\right)} \quad (1)$$

La fonction universelle Ψ_m s'annule dans les conditions atmosphériques neutres de stabilité [6]. La rugosité est aisément déduite de l'expression précédente. Elle est généralement constante pendant toute l'année selon la nature du terrain: plat (glace, neige et océan), ouvert (aéroports, terre vide de récolte, herbe basse), rugueux (forêts et vergers) ou fermé (villages et banlieues).

Nouadhibou est presque une île dont la nature du terrain change pendant le premier trimestre de l'année. Durant cette période, un changement très important de la texture

du sol est généralement observé. Il se traduit par des déplacements des dunes de sable, ce qui incite d'avancer l'hypothèse de l'augmentation de la rugosité.

Avec les données de 15 années obtenues à partir de l'Office National de Météorologie pour le site de l'aéroport de Nouadhibou, l'estimation du potentiel éolien de ce site a été conduite, en se référant à la norme USA (2011) élaborée dans le cadre du rapport 'Wind Energy Resource Atlas of the United States' indiqué dans le **Tableau 1**.

Il convient de signaler que les vitesses du vent ont été mesurées à la hauteur de 10 m au-dessus du sol. En revanche, une extrapolation à la hauteur 50 m au-dessus du sol a été effectuée, par le biais des données d'un site à proximité dénommé le parc éolien de la Société Nationale de l'Industrie Minière (SNIM). Ces données ont été enregistrées pendant une période d'une année aux hauteurs de 10 et 55 m au-dessus du sol.

La modélisation mathématique adoptée pour ce travail, est la distribution de densité de probabilité de Weibull largement utilisée par l'industrie éolienne [7].

Contrairement aux analyses conventionnelles habituelles, l'analyse des atlas éoliens est fondée sur les limites des classes de densité de puissance éolienne. Chaque classe de puissance éolienne représente la gamme des densités de puissance éolienne susceptibles d'être rencontrées au niveau des sites exposés dans une zone désignée comme ayant cette classe d'énergie éolienne.

Le **Tableau 1** donne les limites de densité de puissance pour les classes d'énergie éolienne utilisées dans l'atlas régional pour les niveaux de référence de 10 m et de 50 m au-dessus du sol [8].

Tableau 1: Classification du potentiel selon le standard des Etats Unis d'Amérique

Classe de la vitesse	Description	Densité de puissance à 50 m (W/m ²)
1	Pauvre	0-200
2	Marginal	200-300
3	Moyen	300-400
4	Bon	400-500
5	Excellent	500-600
6	Extraordinaire	600-800
7	Exceptionnel	800-2000

4. MODELISATION MATHEMATIQUE DE LA DISTRIBUTION DE FREQUENCE DU VENT

Diverses fonctions de distribution de probabilité ont été proposées afin d'effectuer des analyses statistiques sur les vitesses et la direction du vent dans le but d'estimer le potentiel éolien existant dans un site donné. Cette estimation est un outil important pour l'étude et le dimensionnement des parcs éoliens.

4.1 La loi de distribution de Weibull

La loi de distribution de Weibull avec ses deux paramètres c et k a été largement utilisée comme modèle probabiliste dans plusieurs études traitant de divers domaines. Nous pouvons citer entre autres: la médecine, la démographie, l'économie, le génie mécanique, etc. Par ailleurs, il a été démontré que cette loi se prête bien aux données du

vent. Il s'agit d'une fonction de densité de probabilité qui s'exprime de la forme suivante:

$$f(V) = \frac{k}{c} \cdot \left(\frac{V}{c}\right)^{k-1} \cdot \exp\left(-\left(\frac{V}{c}\right)^k\right) \quad (2)$$

V , k et c sont respectivement la vitesse de vent en (m/s), le facteur de forme et le paramètre d'échelle. Les deux paramètres k et c de la fonction de Weibull peuvent être déterminés à partir de plusieurs méthodes statistiques, telles que: la méthode de régression linéaire des moindres carrées en plus de la méthode de déviation standard, la méthode du maximum de vraisemblance, et la méthode de la densité de puissance, sans oublier les méthodes empiriques se basant sur des critères spécifiques notamment la variabilité de la vitesse de vent.

Parmi les différentes méthodes proposées, celle offrant un meilleur coefficient de détermination R^2 a été retenue.

La vitesse moyenne du vent peut être calculée en intégrant la fonction de densité de probabilité à partir de la formule suivante:

$$\bar{v} = \int_0^{\infty} v \cdot f(v) \cdot dv \quad (3)$$

Ou encore, la vitesse moyenne sera définie en fonction des paramètres de Weibull comme suit:

$$\bar{v} = c \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right) \quad (4)$$

Et la densité de puissance du vent est exprimée par l'expression

$$P = 1/2 \cdot \rho \cdot \langle v \rangle^3 \quad (5)$$

Ou encore, la densité de puissance du vent sera définie en fonction des paramètres de Weibull par l'expression suivante:

$$P = 1/2 \cdot \rho \cdot c^3 \cdot \Gamma\left(1 + \frac{3}{k}\right) \quad (6)$$

4.2 Extrapolation des paramètres de Weibull à 50 m au-dessus du solaire

L'évaluation du potentiel éolien à la hauteur 50 m au-dessus du sol nécessite la transformation des paramètres de Weibull. L'estimation du coefficient c à une autre hauteur utilise l'équation suivante:

$$\frac{C_2}{C_1} = \left(\frac{z_2}{z_1}\right)^{m''} \quad (7)$$

En 1985, pour des hauteurs quelconques, Mikhaïel [9] a donné l'expression de l'exposant m'' en tenant compte de la rugosité du site comme suit:

$$m'' = \frac{1}{\ln\left(\frac{z_g}{z_0}\right)} + \frac{0.0881 \times (1 - \ln(C_1))}{1 - 0.0881 \times \ln\left(\frac{z_1}{10}\right)} \quad (8)$$

Avec la rugosité z_0 , définie comme étant la hauteur à partir de laquelle, la vitesse de frottement freine la vitesse du vent dont la moyenne géométrique z_g est déterminée par la relation suivante :

$$z_g = (z_1 \times z_2)^{1/2} \tag{9}$$

$$v(z) = \frac{v^*}{\kappa} \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \tag{10}$$

$$z_0 = \exp(-b/a) \tag{11}$$

$$\alpha = \frac{\text{cov}[\ln(z), v(z)]}{\text{var}[\ln(z)]} \tag{12}$$

$$b = \langle v(z) \rangle - a \langle \ln(z) \rangle \tag{13}$$

$$\frac{k_1}{k_2} = \frac{1}{1 - 0.0881 \times \ln\left(\frac{z_2}{z_1}\right)} \tag{14}$$

5. RESULTATS ET DISCUSSION

5.1 Collection et traitement des données

L'Office National de Météorologie 'ONM' dispose d'un réseau d'observations avec 14 stations synoptiques réparties dans les différentes régions (exception faite pour la région du Brakna) et 5 stations maritimes installées au port de Nouakchott, point kilométrique 144 au Sud de la capitale, à Mamghar, Arkeiss et à Nouadhibou.

L'ONM a installé depuis 2010 une station de réception des images satellitaires PUMA {Préparation à l'Utilisation de Météosat Seconde Génération MSG en Afrique} qui permet de recevoir toutes les 15 minutes les images des nuages pour suivre leurs déplacements et conduire une bonne simulation de la prévision du temps. Cet office est doté aussi d'une station environnementale qui permet de suivre la ligne de végétation (Pâturage) et les points d'eau sur l'ensemble du pays.

Les données météorologiques traitées dans cette étude ont été fournies par cette institution pour la zone de Nouadhibou, de 2000 à 2010. Ces données proviennent sous forme de fichiers Excel qui sont enregistrés sous forme tri-horaire.

Tableau 2: Analyse des données du site de Référence

Désignation des paramètres	Données disponibles	Données validées	Taux de couverture
Direction	43 832	40844	0.9318
Vitesse	43 832	40 899	0.9331

Les données traitées du site météorologique de Nouadhibou à la hauteur de 10 m sont fournies par l'Office National de Météorologie 'ONM' couvrant une période de 15 années, du 01/01/2000 au 31/10/2014. Le **Tableau 2** présente le taux des données validées.

Pour notre travail, nous allons nous focaliser uniquement sur la vitesse du vent. Les données seront traitées et analysées par le logiciel Windographer. Ce logiciel permet d'analyser, visualiser et valider les données du vent [10].

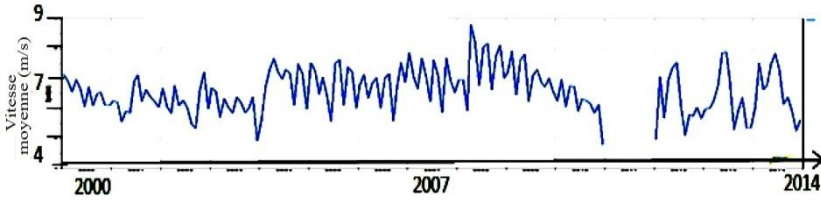


Fig. 2: Variation des vitesses tri-horaires de vent pour les 15 années d'observation

La figure 2 présente la variation des vitesses de vent pluriannuelles du site étudié (de 2000 à 2014) à la hauteur de 10 m au-dessus du sol. Cette figure montre que le comportement des vitesses du vent est pseudo périodique. La vitesse maximale est enregistrée pour l'année 2008 avec 8.7 m/s et la vitesse minimale en 2003 avec 5 m/s.

Le climat de la Mauritanie est subdivisé en trois saisons [11]: la saison sèche chaude (Avril-Juin), la saison de pluie (Juillet-Octobre) et la saison sèche froide (Novembre-Mars).

Les vents les plus importants soufflent pendant la saison sèche chaude jusqu'au début de la saison des pluies allant du mois d'Avril au mois de Juillet avec une vitesse moyenne de l'ordre de 7 m/s, comme il en ressort sur la figure 3 qui présente la variation de la vitesse moyenne mensuelle de vent pour les 15 années d'observation.

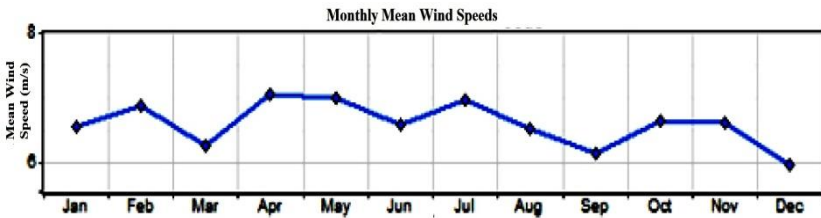


Fig. 3: Variation de la vitesse moyenne mensuelle de vents pluriannuels

La figure 4 illustre l'évolution journalière de la vitesse du vent. Elle montre que la moyenne estimée varie entre 8 et 8.5 m/s, la vitesse minimale est 7 m/s à 13h.

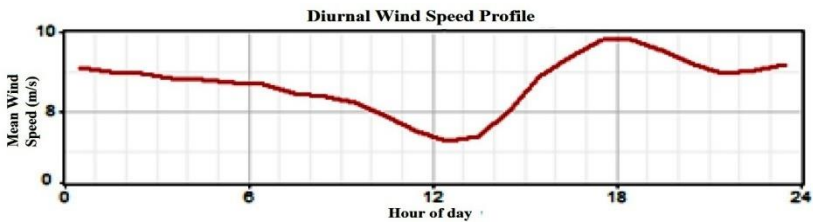


Fig. 4: Variation journalière de la vitesse de vent

La figure 4 illustre l'évolution journalière de la vitesse du vent, elle montre que la moyenne estimée varie entre 8 et 8.5 m/s, la vitesse minimale est de 7 m/s à 13 h.

La courbe montre quatre allures, la première est observée de minuit à 13 h; période pendant laquelle la vitesse de vent décroît de 9 m/s à 7 m/s, puis de 13 h à 18 h où le

vitesse de vent croît jusqu'à la valeur maximale de 9.8 m/s et une autre de 18 h à 21 h 30 où une légère décroissance de la vitesse de vent est suivi par une croissance jusqu'à minuit pour atteindre 9 m/s.

Ce phénomène s'explique essentiellement par la hausse progressive de la température au fil de la journée sur le littoral atlantique provoquant des vents locaux qui s'ajoutent aux vents des Açores.

D'autre part, la direction des vents dominants est représentée par la rose du vent (figure 5) qui montre que les vents dominants oscillent entre le Nord avec une fréquence estimée de 20% et le Nord Nord Est (NNE) avec une fréquence de l'ordre de 80%.

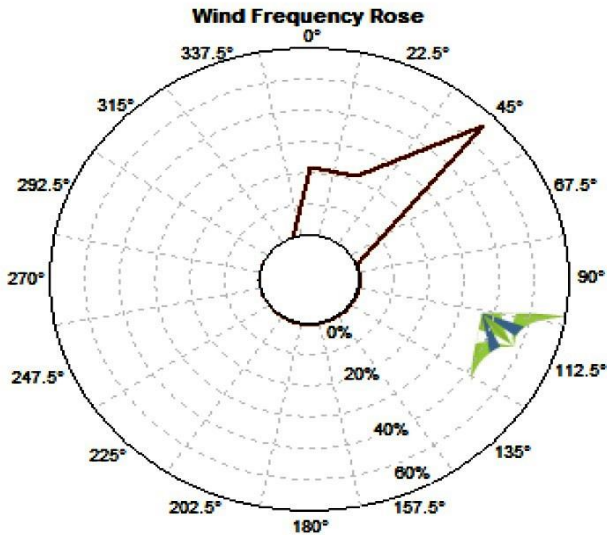


Fig. 5: La rose du vent 'Vents globaux'

La vitesse varie entre 7.012 et 9.8 m/s, sous l'effet des alizés avec la direction générale NNE. Ce résultat corrobore les études faites par Leroux [12], montrant que les alizés soufflent pratiquement de façon continue avec une vitesse qui augmente d'Avril à Août du fait de la remontée de l'anticyclone des Açores et de la disparition de l'anticyclone saharien. Ces alizés sont limités par les fronts intertropicaux [13].

5.2 Synthèse des données du site météorologique

A partir du tableau 3 généré par le logiciel Windographer, on peut obtenir:

- la moyenne des vitesses pendant la période de 15 années pour chaque saison de l'année,

- Les paramètres de Weibull (k et c) et la puissance du vent à une hauteur de 10 m au-dessus du sol. Nous observons aussi que la vitesse moyenne globale est estimée à 6.60 m/s avec un potentiel éolien de 250 W/m² et la vitesse moyenne globale des 15 années de mesure de vitesse de vent produit 10 % de plus de potentiel par rapport à la moyenne annuelle pendant la saison sèche chaude (II).

La vitesse moyenne observée est 6.51 m/s avec un potentiel de 3.9 % de moins par rapport à la moyenne globale pendant la saison sèche froide, soit une augmentation de 10.22 % pendant la saison des pluies. Le facteur de forme est sensiblement constant, ce qui signifie que le vent est quasiment stable.

Tableau 3: Synthèse des données de l'ONM à la hauteur de 10 m AGL

Années	Paramètres (10 mAGL)	Saison			
		S-I	S-II	S-III	Global
2000-2014	$\langle V_{10} \rangle$ (m/s)	6.511	6.937	6.623	6.60
	k_{10}	2.537	2.820	2.740	2.935
	C_{10} (m/s)	7.331	7.788	7.443	7.394
	P_{10} (W/m ²)	259.6	297.6	263.6	270.0

La figure 6 représente les courbes de distribution de Weibull en fonction des méthodes appliquées. Les résultats des paramètres et le potentiel à la hauteur de 10 m au-dessus du sol sont regroupés dans le **Tableau 4**.

Tableau 4: Potentiel du site pour la période du 2000-2014 à 10 m au-dessus du sol par les différentes méthodes

Méthodes	Maximum de vraisemblance	Moindres Carrées	Ecart Type
k_{10}	2.935	2.691	3.382
C_{10}	7.394	7.479	7.525
P_{10}	249.9	270.1	249.8

5.3 Extrapolation des données de vent a 50 m AGL

L'extrapolation du potentiel à la hauteur de 50 m au-dessus du sol exige la connaissance du profil du vent du site étudié, en particulier la rugosité et la vitesse de frottement.

Le profil du vent du site est déterminé selon les conditions normalisées [14]. Donc nous avons obtenu les résultats d'une campagne de mesure de vent pour calculer les coefficients demandés par l'équation 13.

Les données mesurées et enregistrées en 2013 correspondent aux hauteurs de 10, 50 et 55 m au-dessus du sol, sur le site de la centrale éolienne de la Société Nationale de l'Industrie Minière 'SNIM' à moins de 200 m de l'aéroport de Nouadhibou. La rugosité du sol à Nouadhibou est déterminée pour chaque mois, saison et année. L'estimation est basée sur l'hypothèse de neutralité atmosphérique du point de vue de stabilité par le biais du profil logarithmique (équation 1).

A partir du **Tableau 5**, on peut constater que z_0 est importante pendant la saison sèche avec une valeur de 0.6 m en conformité avec les terrains de forte rugosité. Pendant cette saison, la région connaît un soulèvement de sable qui provoque en effet un mouvement et le déplacement des dunes. Tandis que dans la saison des pluies, le sol devient très rugueux par l'adhérence des grains de sable et restent collés au sol.

Tableau 5: Rugosité de chaque saison calculée 'SNIM'

Données/ Saison	sèche chaude	saison de pluie	sèche froide	Global
Rugosité (z_0)	0.62124573	0.000511272	0.007590328	0.258742045

Par ailleurs, il ressort que le sol de Nouadhibou passe d'une structure plane au milieu de l'année à une structure rugueuse à la fin de l'année pour devenir très rugueuse

au début de l'année suivante et ce, d'une manière périodique. Le **Tableau 6** présente la rugosité et l'exposant de l'extrapolation donnée par l'équation 8 pour chaque saison. Il en découle les paramètres de weibull à la hauteur de 50 m et par conséquent le potentiel à cette hauteur standardisée (figure 7). Le potentiel éolien de Nouadhibou est dans la classe bonne pendant la saison sèche avec un potentiel éolien dépassant légèrement 400 W/m².

Tableau 6: Extrapolation des paramètres de Weibull à la hauteur de 50 m

Paramètres	Saisons			Global
	S-I	S-II	S-III	
Z ₀ (m)	0,6212	0,0005	0,0076	0,2587
K ₁₀	2,597	2,820	2,740	2,935
c ₁₀	7,331	7,788	7,443	7,394
c ₅₀ / c ₁₀	1,36	1,00	1,06	1,24
k ₅₀ / k ₁₀	1,17	1,17	1,17	1,17
<V ₅₀ > (m/s)	7,577	7,87	7,508	7,517
k ₅₀	2,39	2,712	2,597	2,535
c ₅₀ (m/s)	8,44	8,159	8,453	8,469
P ₅₀ (W/ m2)	418,0	397,50	398,1	406,3
Classe	Bonne	Moyenne	Moyenne	Bonne

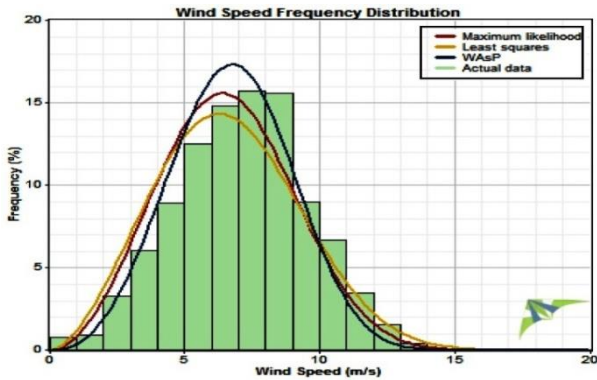


Fig. 6: Les courbes de Weibull obtenues par méthodes appliquées

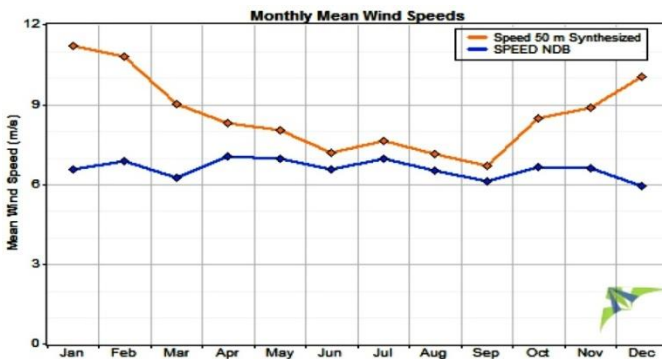


Fig. 7: Données de vent synthétisées à la hauteur de 50 m par extrapolation de la hauteur

Tableau 7: Classification mensuelle du potentiel éolien

Mois	k_{10}	$C_{10}(m/s)$	Z_0 (m)	C_{50} (m/s)	k_{50}	$P_{10}(W/m^2)$	$P_{50}(W/m^2)$	Classe
Janvier	2,82	7,37	1,0956863	12,61	2,81	252,01	1263,82	Exceptionnelle
Février	3,00	7,71	0,6277756	12,12	3,00	280,99	1091,36	Exceptionnelle
Mars	2,95	7,01	0,2765544	10,12	2,95	212,56	639,25	Extraordinaire
Avril	3,16	7,89	0,0012503	9,29	3,16	294,48	482,03	Bon
Mai	3,10	7,81	0,0002878	9,01	3,10	287,89	441,75	Bon
Juin	3,07	7,36	0,0000007	8,08	3,07	242,16	319,78	Moyenne
Juillet	3,10	7,78	0,0000007	8,54	3,10	284,95	376,31	Moyenne
Aout	2,86	7,33	0,0000007	8,04	2,86	246,56	325,60	Moyenne
Septembre	2,95	6,87	0,0000007	7,54	2,95	200,13	264,35	Marginale
Octobre	3,09	7,44	0,0298938	9,48	3,09	248,70	515,49	Excellent
Novembre	2,86	7,43	0,0919022	9,96	2,86	257,03	618,97	Extraordinaire
Décembre	2,73	6,72	1,0003702	11,31	2,73	193,86	926,53	Exceptionnelle

On remarque dans le **Tableau 7**, que plus la vitesse du vent augmente, plus les poussières de sable s'élèvent dans l'atmosphère provoquant un déplacement des dunes de sable impactant négativement le potentiel éolien.

6. CONCLUSION

Le potentiel éolien à Nouadhibou est très important. Il varie de la classe moyenne pendant la saison des pluies à la classe exceptionnelle pendant la saison sèche. A 50 m de hauteur, les vents soufflent suivant la même direction Nord-Nord-Ouest (NNO) à des vitesses variant entre 7 et 11 m/s. Le paramètre d'échelle de Weibull c varie entre 7.54 m/s et 12.61 m/s et le facteur de forme varie entre 2.81 et 3.16.

En passant de 10 à 50 m, la densité de puissance varie du simple au quadruple.

Le potentiel du site étudié s'avère donc favorable pour l'installation des éoliennes.

7. BIBLIOGRAPHIE

- [1] Rapport Technique, '*Troisième Communication sur les Changements Climatiques*', Juillet, Ministère de l'Environnement et du Développement Durable, Nouakchott, Maurétanie, 2014.
- [2] S. Matthieussent, R. Carlier et P. Lavigne Delville, '*Un Projet d'électrification Rurale en Mauritanie*', 1995 - 2000.
- [3] Wikipedia (<https://fr.wikipedia.org/wiki/Nouadhibou>) date d'édition 23/09/17.
- [4] R. Wilson, '*Une Introduction à la Physique de la Couche Limite Planétaire*', M2 Océan, Atmosphère, Climat et Observations Spatiales.
- [5] N.K. Merzouk, '*Evaluation du Gisement Énergétique Éolien- Contribution à la Détermination du Profil Vertical de la Vitesse du Vent en Algérie*', Thèse de Doctorat, Université Abou Bekr Belkaid, Tlemcen, 2006.
- [6] N.K. Merzouk, H. Daaou and S. Haddouche, '*Evaluation of Wind Energy Potential for Windy Micro-area Using a Mass Consistent Model*', VII World Renewable Energy Congress, Cologne, Germany, 2002.
- [7] W.E. Stein and R. Dattero, '*A New Discrete Weibull Distribution*', IEEE Transactions on Reliability, Vol. 33, N°2, pp. 196 - 197, 1984.
- [8] Wind Energy Resource, '*Atlas of the United States*' (<http://rredc.nrel.gov/wind/pubs/atlas/tables/A-8T.html>) Date d'Édition 01/08/2016.