

Estimation du potentiel éolien pour la région d'In Salah

A. Adjiri *, H. Daaou Nedjari et S. Haddouche

Centre de Développement des Energies Renouvelables, CDER
B.P. 62, Route de l'Observatoire, 16340, Bouzaréah, Algiers, Algeria

(reçu le 10 Octobre 2013 – accepté le 30 Décembre 2013)

Résumé - *Le présent travail a pour but la réalisation de la carte des vents de la région d'In Salah, située au centre du Sahara en Algérie. Cette étude a été effectuée à l'aide du logiciel WAsP [1]. Ce dernier prend en considération les différentes données de rugosité, de topographie et de vitesse de vent d'In Salah. En effet, afin de caractériser la nature du terrain, la rugosité a été définie suivant les valeurs de classes de rugosité, données par WAsP. La topographie a été obtenue par un modèle numérique de terrain (MNT). En outre, les données tri-horaires de vitesses de vent obtenues par l'Office National de la Météorologie (ONM) [2] ont été utilisées afin d'obtenir l'atlas vent de la région.*

Abstract – *This work aims consist on the In Salah region wind map, which located in the central Sahara of Algeria. This study was conducted using the WAsP software [1]. It takes into account the data roughness, topography and wind speed of In Salah. In order to characterize the surface nature, the roughness was defined according to the roughness values classes, given by WAsP. The topography was obtained by a digital terrain model (DTM). In addition, the wind speed and direction data recorded by the National Office of Meteorology (NOM) [2] were used to define the wind atlas of In Salah region.*

Keywords: Gisement éolien – MNT – WasP - Loi de distribution de Weibull.

1. INTRODUCTION

La caractérisation du potentiel éolien de l'Algérie fait l'objet de plusieurs études d'expertise et de travaux de recherche. Dans la perspective de relever le défi d'un programme national stratégique de développement des énergies renouvelables prévoyant 12 000 MW à l'horizon 2030. [3]

Le développement de l'énergie éolienne commence par l'établissement d'une carte des vents couvrant la majorité du territoire national. Pour élaborer une nouvelle carte des vents, le présent travail s'inscrit dans l'objectif d'enrichir les études préliminaires déjà effectuées [4-6].

Ce travail permet d'avoir une possibilité d'estimation de la faisabilité d'un projet éolien, vu l'impact du potentiel existant sur le prix de revient de l'électricité éolienne.

Dans cet objectif, l'étude du gisement éolien préalable à l'installation d'une ferme éolienne doit être effectuée, de la façon la plus précise afin de rentabiliser la productibilité du projet.

Le présent travail concerne l'estimation du potentiel éolien existant dans la région d'In Salah, située à l'extrême sud de l'Algérie dans la wilaya de Tamanrasset. Elle est délimitée par les latitudes de 27° à 28° et les longitudes de 2° à 3°. Le choix de cette région a été basé sur un travail préalable concernant l'atlas vent de l'Algérie [4]

* s.adjiri@cder.dz

Le logiciel WAsP, développé par Risoe [7], est l'un des premiers codes de calcul appliqué à l'étude des gisements éoliens. Il peut être utilisé pour de grandes ou de petites surfaces, plus ou moins accidentées avec des pentes d'inclinaison n'excédant pas 30 % [1].

Il permet d'accéder à plusieurs possibilités de calcul, tel que le traitement statistique des données brutes de vitesse de vent, donnant les variations mensuelle, saisonnière et annuelle de la vitesse moyenne du vent, de la densité de puissance moyenne et des paramètres de Weibull k et A . En outre, il peut lire la carte du relief et de rugosité représentée en structure vectorielle.

Une fois que le traitement et la lecture de données sont effectués, on obtient les valeurs de vitesses et de densité de puissance in situ au niveau de la station de mesure. Ces différents paramètres (vitesse moyenne, densité de puissance, élévation, paramètres de Weibull k et A , etc.), sont interpolées sur la surface totale étudiée, donnant la carte éolienne de la région.

2. METHODOLOGIE

2.1 Modélisation mathématique

Pour le calcul du gisement éolien, différents modèles d'écoulement atmosphérique peuvent être utilisés. Le logiciel WAsP utilise le modèle développé par Jackson et Hunt (1975), basé sur les équations de la continuité {*éq. (1)*} et de la quantité de mouvement {*éq. (2)*}.

$$\nabla \cdot \mathbf{u} = 0 \quad (1)$$

$$\rho \times \left(\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + (\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{u} \right) = \nabla \cdot \Sigma + \rho \cdot \mathbf{g} \quad (2)$$

avec, $\Sigma = -p\mathbf{I} + \mu(\nabla \cdot \mathbf{u} + \nabla \cdot \mathbf{u}^t)$, le tenseur des contraintes.

Ces équations sont simplifiées en négligeant les termes non linéaires. En supposant les hypothèses simplificatrices suivantes:

1. Le modèle divise l'atmosphère en deux régions: la région interne et la région externe [9];
2. La couche limite est développée sur un plan de rugosité;
3. Le nombre de Rossby et le nombre de Reynolds sont supposés élevés de manière à pouvoir décrire le profil de la couche limite par une courbe logarithmique;
4. La dernière hypothèse est que la hauteur de la colline est beaucoup plus petite que sa longueur. Cette hypothèse fait en sorte que les falaises et les pentes raides ne sont pas tenues en compte.

Une fois les équations linéarisées, elles sont par la suite résolues à l'aide des transformées de Fourier.

En 1982, une modification qui consiste à décrire la pression en fonction de l'altitude dans la région interne a été apportée au modèle. Il a été aussi modifié par la suite, afin de prendre en considération la variation de rugosité, initialement supposée constante [9, 10]. Ces modèles intégrés dans WAsP ont été utilisés pour calculer le potentiel éolien disponible dans la région d'In Salah.

2.2 Traitements statistiques

Il existe différentes lois de distribution statistique pour caractériser l'écoulement du vent dans un site donné, dont la loi de Weibull caractérisée par les paramètres A et k (facteur de forme et facteur d'échelle) {éq. (4)}. Comme la distribution de Weibull est inappropriée aux sites à fortes fréquences de vitesses nulles ($> 15\%$), une loi modifiée dite hybride de Weibull est donnée par l'équation (5).

$$f(V) = \left(\frac{k}{A}\right) \times \left(\frac{V}{A}\right)^{k-1} \exp\left(-\left(\frac{V}{A}\right)^k\right) \quad (4)$$

$$f(V) = (1 - f_0) \times \left(\frac{k}{A}\right) \times \left(\frac{V}{A}\right)^{k-1} \exp\left(-\left(\frac{V}{A}\right)^k\right) \quad (5)$$

avec, f_0 , la fréquence des vitesses nulles.

2.3 Localisation du site

La région étudiée, à savoir In Salah, se situe à l'extrême Sud de l'Algérie au Nord Ouest de la wilaya de Tamanrasset à 54 km de la frontière de la wilaya d'Adrar. La zone d'étude, de 9393 km² de superficie est délimitée par les latitudes 27° et 28°, les longitudes 2° et 3°. (**Tableau 1**)

Tableau 1: Caractéristiques de la région étudiée

Site	Système géographique décimal				Superficie de la région (km ²)
	Longitude		Latitude		
In Salah	Min	Max	Min	Max	9393
	2°	3°	27°	28°	

2.4 Description des données Input

La première étape du travail consiste en l'analyse des données brutes de vitesse vent mesurées par l'O.N.M pour la station d'In Salah. Ces données sont présentées sous forme de tableau, regroupant une série de mesures tri-horaires de direction et de vitesse de vent recueillies sur une période de 10 années de mesures.

Le traitement statistique suivant la distribution de Weibull {éq. (4)} est effectué à l'aide du module de WAsP, pour le calcul de la vitesse moyenne et la représentation de la rose des vents. En effet, en utilisant l'utilitaire Observed Wind Climate, 'OWC', le module prend en considération les caractéristiques de la station, à savoir la hauteur du mât (10 m), les coordonnées du lieu de mesure (longitude 2.5°, latitude: 27.23°) et les données brutes de vent. Il opère alors un calcul statistique pour estimer la distribution des fréquences des vitesses, la densité de puissance et les paramètres de Weibull A et k .

2.5 Elaboration de la carte de l'environnement global

- Topographie

La carte du relief est réalisée sur la base d'un Modèle Numérique de Terrain (MNT) et est donnée en format Arc Ascii ou Geotif sous forme matricielle par pas horizontal de

90 m. Les données sont générées dans le système SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission) [11] par la NASA et exprimées dans le système de coordonnées géographiques WGS84.

Les fichiers topographiques obtenus avec une précision de 90 m constituent souvent des volumes de donnée trop lourds à traiter. Pour alléger, le pas horizontal est augmenté à 240 m constituant une matrice de taille réduite.

Les données de topographie obtenues sont tracées à l'aide du logiciel Surfer, pour obtenir une carte de courbes de niveau suivant un pas de 10 m (Fig. 1).

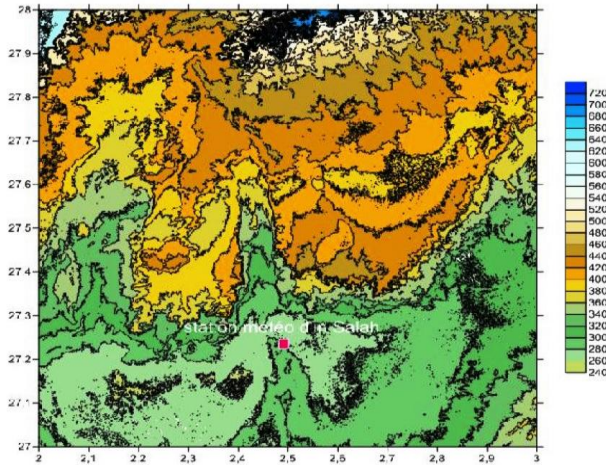


Fig. 1: Carte des lignes de contours de la topologie de la région d'In Salah

- Rugosité

Suivant la nature du terrain, la rugosité a un effet local sur la vitesse du vent selon le changement d'état de la surface. En effet, cela provoque un changement immédiat sur le profil du vent suivant les différents types de rugosité. Ils sont classés selon une échelle de longueur représentative de la nature du terrain (sable, roche, forêt, etc.) [1].

La méthode utilisée pour établir la carte des rugosités consiste à observer la région étudiée à partir d'une image satellitaire, permettant de définir le type de terrain de chaque zone caractéristique, par un contour qui délimite chacune d'elle.

Deux valeurs de la longueur de rugosité sont affectées, ainsi pour le type de surface externe R_{ext} et interne R_{int} au contour.

A l'aide de l'utilitaire WASP Map Editor, qui permet de convertir les points du système de coordonnées géographiques décimales ($^{\circ}$) au système de projection UTM (Universal transverse Mercator), la carte est traitée pour être utilisée par WASP. Les coordonnées des contours relevées sont superposées à la carte de topographie.

Il est à noter que la région d'In Salah est caractérisée par quatre (04) classes de rugosités définies par une longueur (Z_0 (m)). Elles sont données dans le **Tableau 2**.

Tableau 2: Longueurs de rugosité adoptées

Lieu	Z_0 (m)	Classe de rugosité
Plan d'eau	0.0002	0
Sable	0.0003	0
Terrain nu et sec	0.005	0
Terrain avec peu construction	0.03	1
Terrain agricole	0.1	2
Village	0.2	3
Oasis	0.5	3
Forêt	0.8	3

3. RESULTATS ET DISCUSSION

L'estimation du potentiel éolien de la région d'In Salah, délimitée par les latitudes 27° et 28° et les longitudes 2° et 3°, est effectuée en utilisant le logiciel WAsP. Le traitement statistique des données brutes de vitesse de vent a permis une analyse donnant les variations annuelle et mensuelle de la distribution des vitesses du vent, de la densité de puissance moyenne et des paramètres de Weibull k et A . Les données de topographie et de rugosité minutieusement collectées et structurées en format vectoriel ont été à la base du traitement réalisé par WAsP.

Les figures 2 et 3 représentent respectivement la rose des vents et la distribution des fréquences des vitesses dans la région étudiée. Les directions des vents dominants, données par la rose des vents, sont observées à l'Est avec une valeur maximale de la fréquence de distribution de 18 % et au Nord-Est avec une distribution de 14 %.

La distribution annuelle des fréquences de la vitesse (Fig. 3) montre que les vents calmes, caractérisés par les valeurs de vitesse comprise entre 0 et 1 m/s, représente la plus grande fréquence d'apparition. En effet elle est de l'ordre de 24 % au cours de l'année. Mise à part cette dernière classe de fréquence, le reste de la distribution évolue suivant la forme de la distribution de Weibull, où environ 40 % des valeurs de vitesse sont supérieures à 5 m/s. La vitesse moyenne annuelle dans la région est estimée à 4.75 m/s à une hauteur de 10 m.

Les paramètres de Weibull caractérisant le site sont de l'ordre de 5.3 m/s pour le facteur d'échelle et de 1.51 pour le facteur de forme, ce qui signifie que la vitesse du vent est variable dans la région. Enfin, les moyennes annuelles calculées à une hauteur de 10 m du sol montrent que le site étudié est moyennement venté.

La figure 4 représente l'ensemble des résultats mensuels pour la distribution de la vitesse du vent. Durant la période qui s'étend du mois de février au mois de mai, comprenant la saison printanière, les directions prédominantes du vent sont au Nord. En hiver elles sont en majorité de Nord-Est.

L'étude mensuelle a permis de constater que les vitesses moyennes mensuelles sont assez importantes durant plusieurs mois. En effet, elles atteignent un maximum de 5.62 m/s au mois de juillet, et elles sont de l'ordre de 5.23 m/s au mois de mars. Toutefois, la vitesse moyenne la plus faible est notée pour le mois de décembre

La figure 5 montre que le facteur de forme k varie autour de la valeur moyenne de 1.5. Il s'approche de la valeur de 2 au cours des mois allant de juin à septembre où elle est égale à 3.94 m/s, cela signifie que le vent est régulier au cours de ces deux mois,

Les figures 6 et 7 représentent les cartes des contours des vitesses et des densités de puissance obtenues pour la région d’In Salah. La carte des vitesses montre une homogénéité dans la distribution des vitesses sur une grande surface de la région avec des valeurs prédominantes allant de 4.4 à 4.8 m/s. On constate aussi l’existence de certaines surfaces éparpillées où la vitesse atteint la valeur de 5.4 m/s.

Au nord de la région, les valeurs sont plus ou moins faibles. Elles sont de l’ordre de 3.8 m/s. Toutefois, il apparait un pic de vitesse dans cette partie nord qui atteint la valeur de 6.8 m/s. Cette augmentation est due à un changement brusque de la topographie du terrain.

La carte de densités de puissance de la région d’In Salah montre que la distribution est aussi homogène dans la région. En effet, elle varie de 140 à 220 W/m² sur l’ensemble de la région, à l’exception de quelques zones où on enregistre des maximum de 340 W/m². Notons que la valeur moyenne annuelle est égale à 177 W/m².

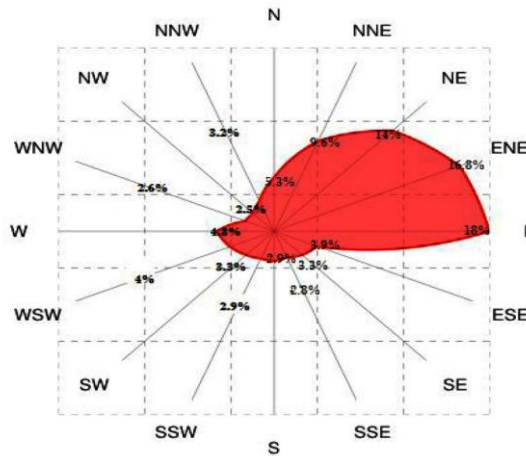


Fig. 2: Rose des vents annuelle pour la région d’In Salah

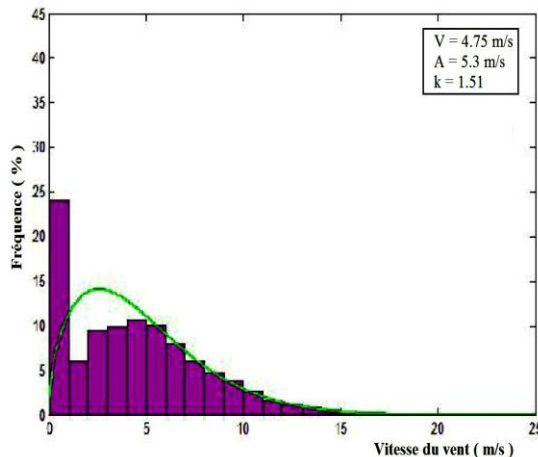
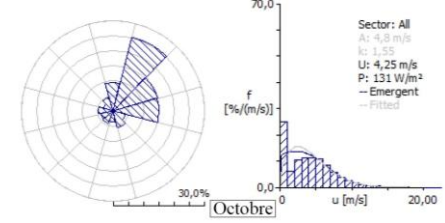
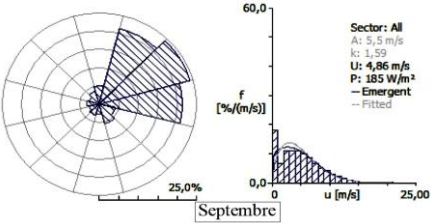
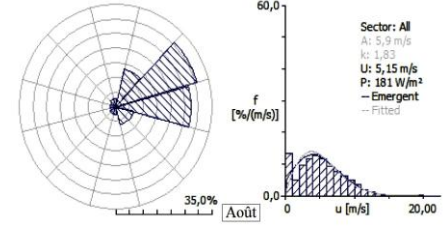
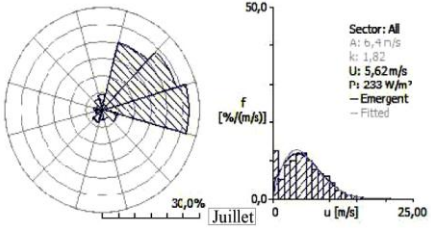
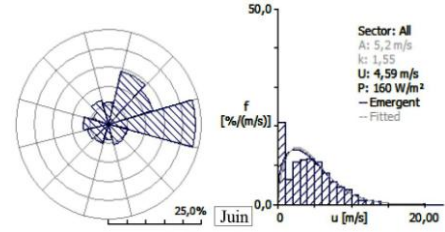
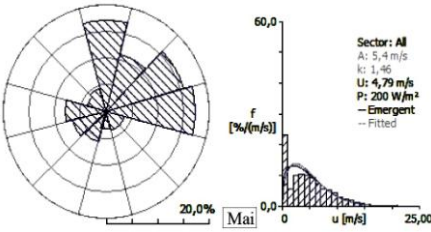
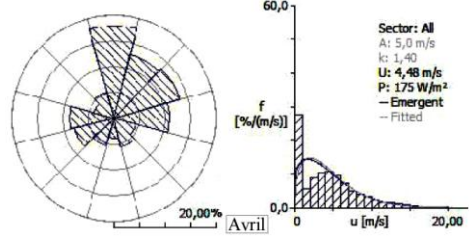
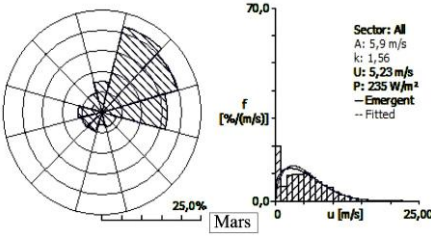
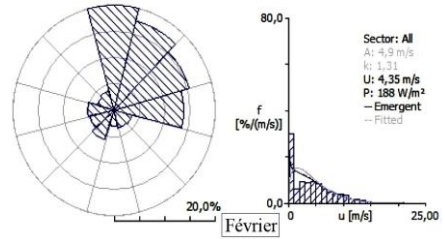
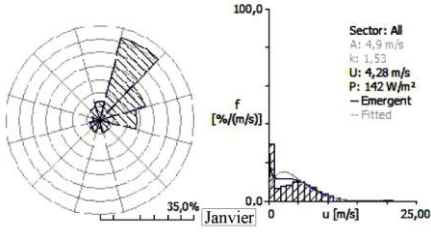


Fig. 3: Histogramme de distribution de la vitesse du vent de la région d’In salah



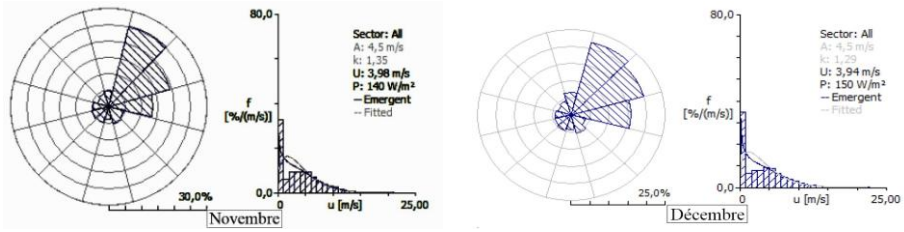


Fig. 4. Rose des vents et histogrammes mensuels des données de vitesses et de direction du vent pour la région d’In Salah

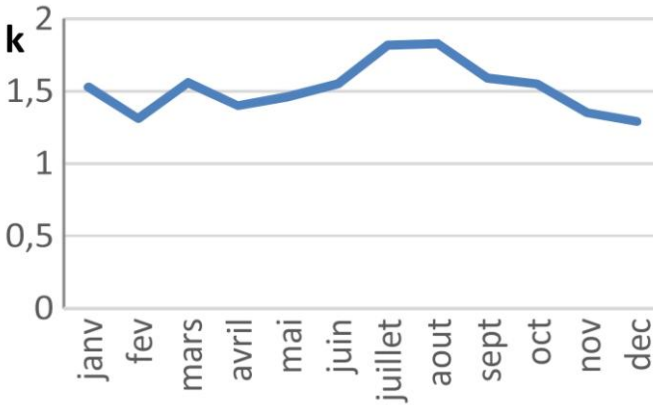


Fig. 5: Variation de facteur de forme k de la distribution de weibull pour la région d’In salah

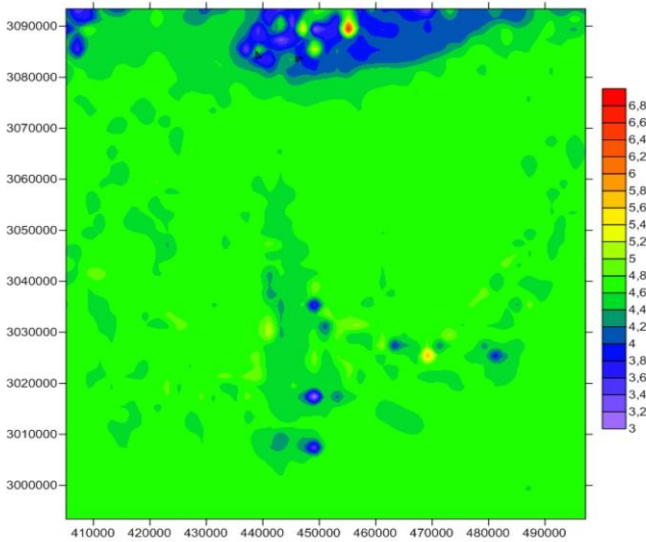


Fig. 6: Carte des lignes de contours de la vitesse moyenne du vent pour la région d’In Salah à 10 m d’altitude

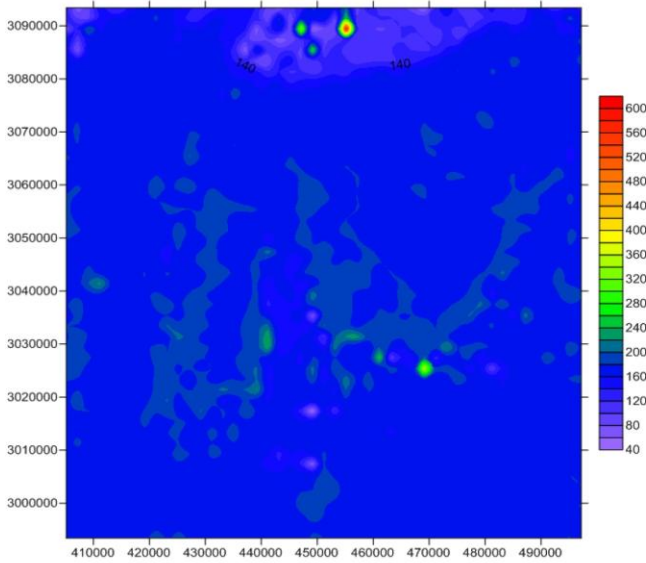


Fig. 7: Carte des lignes de contours de densité de puissance moyenne pour la région d'In Salah à 10 m d'altitude

4. CONCLUSION

Cette étude a permis la détermination du potentiel éolien disponible dans la région d'In Salah. Les résultats obtenus ont montré que la distribution du potentiel énergétique à 10 m est assez satisfaisant, et apte à accueillir des applications comme l'implantation de petites éoliennes de pompage d'eau.

REFERENCES

- [1] Tutorial WAsP 10.02.0010, 1987-2012 DTU Wind Energy.
- [2] Rapport Scientifique, O.N.M, 'Office National de la Météorologie'.
- [3] W. Atimène, 'Cadre Juridique Régissant les Energies Renouvelables en Algérie', CREG Journée Photovoltaïque, CSP et Intégration dans le Réseau, 2013.
- [4] N. Kasbadji Merzouk et H. Daaou, 'ATLAS Energétique Eolien de l'Algérie', SIPE5, Béchar, 11/2000.
- [5] N. Kasbadji Merzouk, 'Evaluation du Gisement Energétique Eolien Contribution à la Détermination du Profil Vertical de la Vitesse du Vent en Algérie', Thèse de Doctorat, Université de Tlemcen, 2006.
- [6] F. Chellali, A. Khellaf, A. Belouchrani, and A. Recioui, 'A Contribution in the Actualization of Wind Map of Algeria', Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 15, N°2, pp. 993 – 1002. 2011.

- [7] J.M. Noël, '*Energie Eolienne pour la Fourniture d'Electricité*', Techniques de l'Ingénieur, BE8585, 2009.
- [8] S. Glockner, '*Contribution à la Modélisation de la Pollution Atmosphérique dans les Villes*', Thèse de Doctorat, Université de Bordeaux 1, 2000.
- [9] J. Dorval, '*Evaluation des Méthodes d'Estimation du Productible des Parcs Eoliens*', Ecole de Technologie Supérieure, 2011.
- [10] J.L. Walmsley, J.R. Salmon and P.A. Taylor, '*On the Application of a Model of Boundary-Layer Flow over Low Hills to Real Terrain*', Boundary-Layer Meteorology, Vol. 23, N°1, pp. 17 - 46, 1982.
- [11] H. Daaou, S. Haddouche et N. Kasbadji Merzouk, '*Caractérisation Eolienne de Sites Ventés A l'Aide du Modèle Aiolos et d'un Modèle Numérique de Terrain (MNT)*', SMEE'10, Tipaza, Avril 2010.