

# Mise en oeuvre d'une base de données vent ALADIN et réalisation d'une carte de régime des vents dominants en Algérie

Amel BOUCHEFFA <sup>1\*</sup>, Mohamed MOKHTARI <sup>1</sup>

## Résumé

Les simulations des vents moyens en Algérie sont basées sur des données météorologiques tri horaires prévues par le modèle ALADIN pendant une période de cinq ans (2007-2011). Ces données ont permis la production de la carte des vents de l'Algérie, à des altitudes de 10, 20, 40, 50, 60, 70, 80 et 100 mètres du sol. Les cartes élaborées révèlent que les régions les plus ventées sont situées dans les régions du sud du pays avec une multitude de microclimats éparpillés à travers le pays. Enfin, du point de vue développement, cette base de données météorologiques conçue à l'aide des vents ALADIN, sera comparée à la base des données climatiques des vents, afin d'améliorer ce produit.

## Mots Clés:

Base de données vents — Vitesse du vent — Carte de vent — Modèle ALADIN

<sup>1</sup> Office National de la Météorologie (CNPM-ONM), Dar El Beida, Alger

\*Correspondant: amelsid@hotmail.fr

## 1. Introduction

La production d'électricité éolienne représentait en 2013, pratiquement 3,5% de la production mondiale d'électricité estimée à 21 500 TWh. Il s'agit actuellement de la première source d'énergie renouvelable (hors grande hydraulique) qui intervient dans le mix de production d'électricité, tous pays confondus [Beslin and Multon \(2016\)](#).

L'Algérie est confrontée à des problèmes d'énergie électrique. La puissance fournie ne suffit plus à la demande, elle atteint des pointes de 5100 MW, valeur dépassant de 200 MW sa capacité de production. Il est grand temps de se retourner vers les autres formes d'énergies renouvelables disponibles en grandes quantités dans notre pays comme le vent, qui n'est qu'une forme indirecte de l'énergie solaire. Malheureusement ces ressources sont mal ou peu exploitées. Pour utiliser le vent comme source d'énergie, il faut connaître le potentiel éolien d'une région. Les pays industrialisés possèdent des cartes et des atlas de vents, ce qui n'est pas le cas des pays en voie de développements [Helal and Ghellai \(2003\)](#).

La puissance éolienne totale installée en Algérie est donc actuellement insignifiante. Cependant, le ministère de l'énergie et des mines a projeté, dans son nouveau programme des Énergies Renouvelables, d'installer d'autres parcs éoliens d'une puissance totale de 1000 MW à moyen terme (2015-2020) pour atteindre 5010 MW à l'horizon 2030. A noter que ce nouveau programme vise aussi bien les installations connectées au réseau électrique que le petit éolien, à l'instar des développements dans le monde où les installations de petites éoliennes ont augmenté ces dernières années. En effet, fin 2012, celles-ci ont atteint le nombre de 806 000, ce qui représente environ 35% de l'ensemble des éoliennes installées. Les petites éoliennes actuelles sont pour la plupart des machines à axe horizontal à 3 pales, équipées d'alternateurs à aimants permanents et d'un dispositif d'orientation passif. Mais on trouve également des aérogénérateurs à axe vertical (2 à 5% des petites éoliennes installées). Ces derniers sont plus adaptés aux installations urbaines où les vitesses

de vent sont faibles et la turbulence importante [Guerrri \(2015\)](#).

Cependant, pour qu'une telle installation soit performante, la vitesse moyenne du vent doit être supérieure à 4m/s.

Pour les installations de grandes puissances, les vitesses du vent moyen doivent être supérieures à 6 m/s, la hauteur de référence étant de 10 mètres. Cependant, avoir de grandes vitesses ne suffit pas. En effet, la disponibilité de cette ressource éolienne doit être importante. En d'autres termes, le nombre d'heures pendant lesquelles la vitesse du vent est élevée doit être important sur le long de l'année [Guerrri \(2015\)](#).

Selon le premier Atlas Vent de l'Algérie établi par l'ONM en 1990, les vitesses les plus élevées sont de l'ordre de 6 m/s et sont localisées dans la région d'Adrar. Ces résultats, qui étaient obtenus à partir d'un traitement statistique des données vent couvrant jusqu'à 10 années de mesures, sont la base des cartes éoliennes établies par les chercheurs du CDER (Figure 1) [Daaou et al. \(2003\)](#). Mais récemment, dans le nouvel Atlas éolien établi par l'ONM, l'existence de sites ventés dans d'autres régions du Sud a été mise en évidence. Outre Adrar, les régions de Tamanrasset, Djanet et In Salah disposeraient d'un potentiel éolien appréciable. A noter que lors de l'élaboration du premier Atlas, seules 36 stations météorologiques existaient alors que pour le dernier Atlas, le nombre de points de mesures est passé à 74. Cependant, étant donnée la superficie du territoire algérien, ce nombre chiffre reste faible. Des stations de mesures éoliennes et autres sont en cours d'installation. Le gisement éolien en Algérie est donc toujours en cours d'évaluation [Guerrri \(2015\)](#).

Actuellement l'ONM s'est engagé dans un programme d'action visant à améliorer la qualité de la carte des régimes des vents en Algérie en utilisant les sorties du modèle de prévisions ALADIN dans le but de localiser les sites les plus ventés en Algérie pour de nouvelle plantation d'aérogénérateurs. Dans cette perspective, nous avons développé un programme permettant l'extraction

des données vents à partir des données simulées d'ALADIN (Aire Limitée Adaptation dynamique Développement International) à différents niveaux sur toute l'Algérie. A partir de ces données, des cartes de potentiel éolien ont été élaborées puis validées par rapport aux données d'observation.

## 2. Puissance d'une éolienne

A l'échelle locale, la ressource éolienne, notamment la vitesse du vent, est influencée par la topographie : altitude, profil du terrain (plaine, colline, sillon montagneux, etc.) et la rugosité (type de végétation, immeuble, obstacle, etc.). Par ailleurs, la ressource éolienne présente des fluctuations. Il s'agit de variations de la vitesse et de la direction du vent observées sur une échelle de temps (par exemple, de l'année jusqu'à la seconde). Ces variations : fluctuations, turbulences etc. sont plus ou moins importantes en fonction de la saison et du secteur géographique concerné, elles caractérisent une distribution aléatoire communément appelée « aléa éolien ».

Habituellement, lorsque l'on parle de vitesse du vent, sous-entendu instantanée, il s'agit de moyennes sur 10 minutes. Des études ont montré que la vitesse moyenne annuelle permet d'évaluer la productivité annuelle d'un site sans se préoccuper de la variabilité Beslin and Multon (2016) .

Un aérogénérateur est caractérisé par sa courbe de puissance et sa courbe de coefficient de puissance. La première représente la variation de la puissance électrique produite et la deuxième indique l'efficacité avec laquelle l'éolienne convertit l'énergie mécanique du vent en électricité, les deux sont fonction des différentes classes de vitesse du vent. Ces deux caractéristiques sont généralement fournies par le constructeur Jeanmart (2011).

La courbe de puissance est en réalité constituée d'une multitude de points espacés de part et d'autre de la ligne rouge, plutôt qu'une courbe bien définie comme celle du graphe pigmenté en rouge sur la Figure suivante :

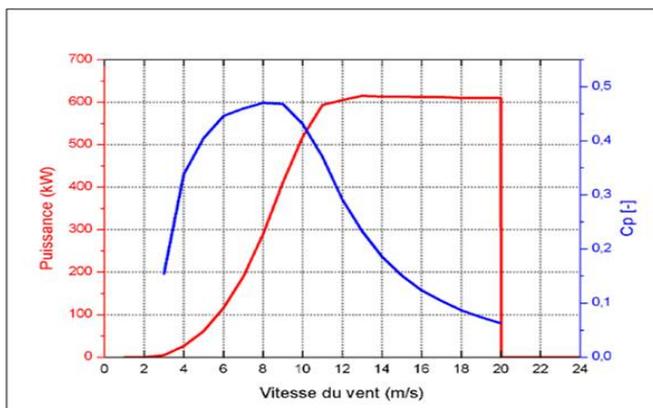


Figure 1. Courbe de puissance et de coefficient de puissance pour une éolienne

En effet, il y aura toujours des fluctuations de la vitesse du vent qui rendront impossible une mesure de façon précise du flux d'air passant à travers le rotor de l'éolienne.

On peut distinguer 4 parties sur cette courbe

- De 0 à la vitesse de démarrage (ici 3m/s) : la puissance de sortie est nulle, le vent n'est pas suffisam-

ment important pour entraîner la rotation du rotor.

- De la vitesse de démarrage à la vitesse nominale (ici 13m/s) : la puissance de sortie augmente jusqu'à atteindre la puissance nominale (ici 600 kW).
- De la vitesse nominale à la vitesse de coupure (ici 20m/s) : la puissance de sortie est maintenue à la puissance nominale, presque constante grâce au dispositif de régulation.
- Après la vitesse de coupure : l'éolienne est mise à l'arrêt pour protection, la puissance de sortie est nulle (Boudia, 2013), [www.energieplus-lesite.be](http://www.energieplus-lesite.be) .

Quant à la courbe, du coefficient de puissance, représentée en bleu sur la Figure 3, il est à noter que même si l'efficacité moyenne d'une telle éolienne soit normalement supérieure à 20%, celle-ci varie considérablement en fonction de la vitesse du vent. Le coefficient de puissance tient compte de la limite de Betz. C'est pour cela qu'il sera toujours inférieur à cette limite. Il est de l'ordre de 35% pour une éolienne à axe horizontal mais il ne dépasse pas 10% pour une éolienne à axe vertical Beslin and Multon (2016).

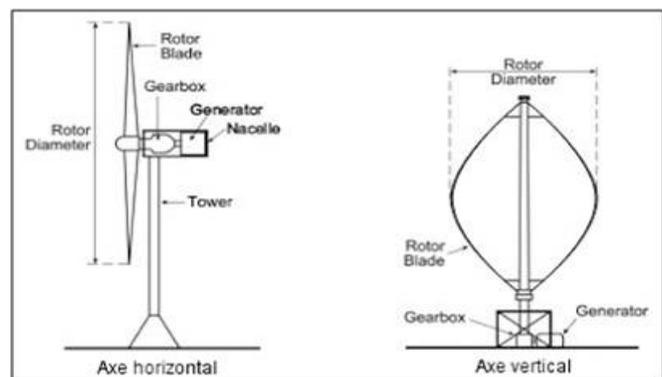


Figure 2. Schéma représentatif d'une éolienne à axe vertical et d'une éolienne à axe horizontal

Afin d'améliorer le potentiel éolien en Algérie ; une actualisation de la carte des vents moyens annuels est nécessaire pour localiser les sites où la vitesse de vent varie entre 6m/s et 10m/s, plage optimale de l'énergie éolienne

## 3. Les cartes de vent disponible

Une multitude de travaux ont été réalisés dans ce cadre dont l'ensemble des résultats est représenté ci-dessous :

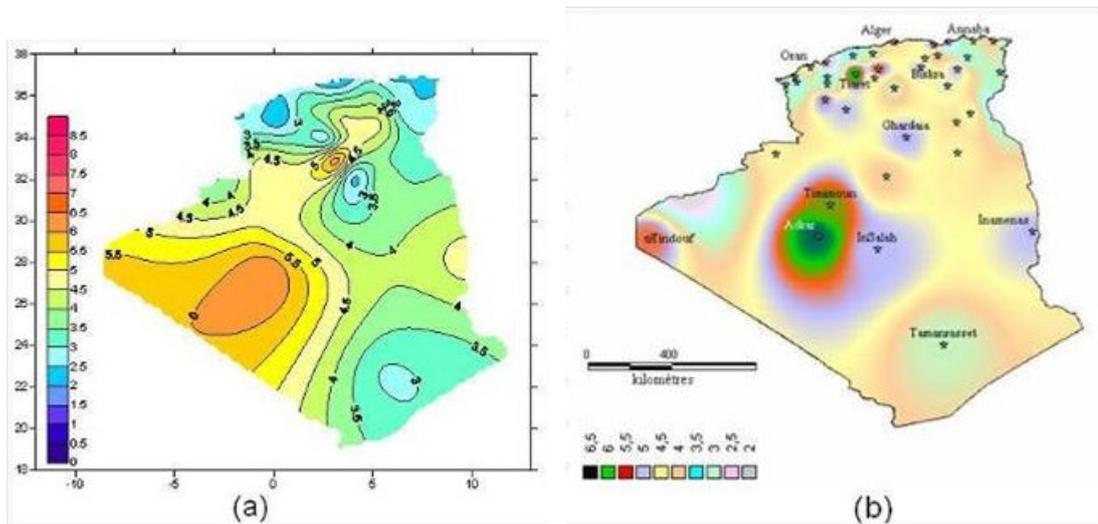
### Carte de vitesse du vent établie par CDER

La figure 3 illustre les données des vitesses moyennes annuelles du vent, relatives à 26 stations de mesure, s'étalant sur une période d'une dizaine d'années.

Par ailleurs, afin d'augmenter la densité des points de mesure et afin d'augmenter la fiabilité des résultats, les vitesses moyennes annuelles du vent, produites par l'Office National de la Météorologie, ont été incluses pour l'affinement du tracé des cartes.

Sur la Figure 3, sont représentés tous les points de mesure utilisés pour la production des cartes du vent en Algérie, à une altitude 10 mètres du sol.

A l'aide du logiciel Surfer, une interpolation des points de mesure est effectuée, pour la détermination de vitesses



**Figure 3.** (a) Carte annuelle des vents (m/s) à 10m du sol estimée par Dr. Chellali, (b) Carte annuelle des vents (m/s) à 10m du sol estimée par Dr. Kasbadji-Merzouk

du vent à intervalle égal à 0,5° de longitude et de latitude Daaou et al. (2003) Merzouk (1999).

Il est à noter que ces méthodes d'interpolations sont à écarter pour des rayons supérieurs à 10 Km autour des stations de mesure Daaou et al. (2003).

Ces cartes de vent sur l'Algérie ont été obtenues par des méthodes d'interpolation. Les résultats obtenus peuvent être erronés notamment dans le cas où une zone intermédiaire (ventée) entre deux zones moins ventées n'a pas été prise en considération. Pour cette raison, une révision et une actualisation de la carte des vents en Algérie semblent indispensables.

#### Carte de vitesse du vent établie par l'ONM (CCN)

Le Centre Climatologique National (CCN) à l'ONM a développé une carte des régimes de vent en Algérie à partir des sorties du vent du modèle climatologique RegCM qui est actuellement de l'ordre de 20 Km de résolution horizontale pour une période de dix ans soit 2001 à 2010 Halimi.

Quelques résultats de cette étude sont illustrés sur le tableau suivant qui montrent les valeurs des moyennes annuelles du vent observées sur quelques stations ainsi que les valeurs prévues par le modèle RegCM Helal and Ghellai (2003).

**Table 1.** Vents moyens observés et prévus par RegCM sur quelques stations

Station(10m)	Vent observé	Vent prévu
BISKRA	4.4 - 4.1	5.1
DJELFA	4.2 - 2.7	4.8
EL-BAYADH	3.6 - 3.9	4.8
TOUGOURT	3.4 - 3.3	4.8

À l'intérieur de la couche limite atmosphérique, le régime éolien est directement influencé par la rugosité de la surface, la présence d'obstacles, la topographie. Ces paramètres doivent donc être pris en considération pour l'évaluation des ressources éoliennes disponibles dans un site donné et pour mieux localiser l'emplacement des fermes éoliennes. À cet effet, l'ONM envisage une carte de régime des vents basée sur les prévisions du modèle ALADIN à 12 Km de résolution horizontale archivées sur

une période de cinq ans.

Le but de la présente étude, est d'établir une carte des vitesses de vents moyens prévus par le modèle de prévision de temps ALADIN sur une période de cinq ans pour l'Algérie.

## 4. Méthodologie

### Données et traitement

La collecte des données de prévision ALADIN du paramètre vent sur la période d'étude (janvier 2007 – décembre 2011)

Récupération des fichiers de prévisions du domaine ALADIN de janvier 2007 jusqu'à décembre 2014 (l'ONM dispose d'une base de données de fichiers de prévisions archivés à METEO-FRANCE depuis son adhésion au consortium ALADIN en 2006, d'où l'idée d'élaboration d'une carte de régime des vents sur la période 2007-2011).

Préparation de scripts d'intégrations des données de prévisions en fichiers post-traitement FULLPOS, cette étape permet de convertir les fichiers de prévision du modèle de la projection Lambert en fichiers de prévisions sur une grille régulière LAT-LON sur différents niveaux d'altitudes qui ont été fixés à (10m, 20m, 40m, 50m, 60m, 70m, 80m et 100m) pour la période d'étude.

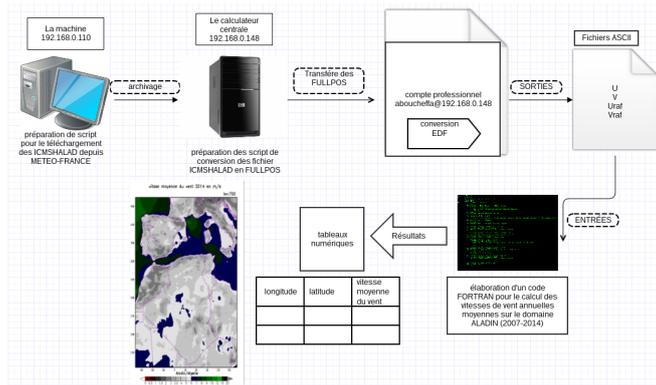
Extraction des fichiers de prévisions du vent zonal et du vent méridien qui représentent les composantes u et v du vent sur les niveaux d'altitude, déjà cités, sur toute la grille du domaine ALADIN par échéance de trois heures de janvier 2007 jusqu'à décembre 2011.

Ces données de prévision sont ensuite répertoriées dans des dossiers indiquant l'échéance de chaque fichier (base de données).

Élaboration d'un code de calcul en Fortran à partir duquel les paramètres de la vitesse du vent annuel ainsi que la vitesse moyenne du vent annuel seront calculés pour toute la période d'étude sur le domaine ALADIN.

Présentation des résultats sous forme de tableaux numériques contenant les vitesses de vent annuelle moyenne sur toute la grille ALADIN ou bien sous forme de carte météorologique illustrant les vents moyens annuels dominant sur chaque région de l'Algérie.

## Méthode de traitement



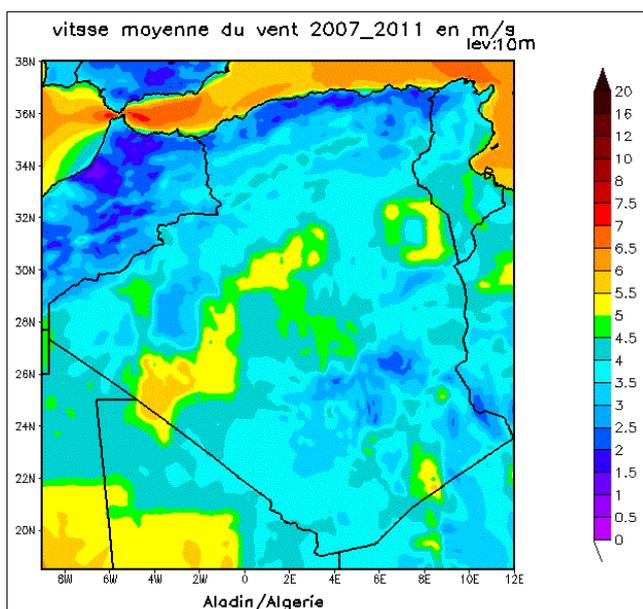
**Figure 4.** Organigramme du traitement : du téléchargement des fichiers à l'élaboration des cartes de vent

Le téléchargement des fichiers de prévisions est effectué depuis la bases d'archives de météo France jusqu'à celle de l'ONM à travers une machine de liaison, ces fichiers sont ensuite transmises sur la grille du modèle ALADIN pour extraire les sorties tri-horaire du vent zonal et du vent méridien sur les 75600 points de grille du domaine ALADIN pour les années 2007, 2008, 2009, 2010 et 2011 sur différents niveaux d'altitude. Ces données sont ensuite archivées sous forme d'une bibliothèque de données tri-horaires des composantes du vent d'une grille de 12 km de résolution.

Cette base de données comprend tous les INPUT du programme de calcul des vitesses moyennes annuelles du vent sur la grille du modèle ALADIN.

### Atlas préliminaire du vent à 10 mètres

La figure 5 représente la carte des vitesses moyennes annuelles du vent prévus a une altitude de 10 mètres au dessus du sol. Les vitesses prévues par le modèle ALADIN varient de 1.5 à 6.5 m/s.



**Figure 5.** Distribution spatiale des vents moyens annuels à 10 mètres.

On remarque que la majorité du territoire se trouve classé dans la gamme de vitesse allant de 1.5m/s à 4.5m/s

(faible sur les régions nord du pays et augmente au fur et mesure qu'on se dirige vers les hauts plateaux et le sud saharien). Les vitesses de vent sont maximales dans les régions situées au sud du pays (Adrar, le sud-est de Tindouf, les Ténéré du Hoggar Tassili et sur la région d'El-Oued en allant vers Ouargla) avec une intensité qui varie de 4.5m/s à 6m/s.

On distingue deux microclimats très favorables pour l'installation de parcs éoliens avec une vitesse moyenne de 6.5m/s sur la région ouest de Bordj Badji Mokhtar ainsi que sur la région d'Ain azawa à la frontière Algéro-Nigérienne.

### Atlas préliminaire du vent à 20 et 50 mètres

D'après la carte des vents à 10 mètres, les sites susceptibles d'être exploités pour l'énergie éolienne sont rares, en effet cela varie en fonction du type de l'éolienne qui est généralement installée à une hauteur supérieur à 20 mètres. C'est pour cela qu'une étude permettant la détermination de la carte des vents à 20 et 50 mètres a été établie.

La prédominance des vitesses de vent de 5 à 6 m/s, se voit Merzouk (1999) nettement sur la carte des vents à 50 mètres et plus au moins sur celle de 20 mètres.

On remarque au centre du Sahara de large étendus ou la vitesse des vents atteint les 6.5m/s à 7m/s sur la carte de 50 mètres entourant les sites d'Adrar du nord vers l'extrême sud, le sud est de Tindouf ainsi que sur Lehdjira et sur l'est d'El-Oued en allant vers Ouargla(El-Borma) et finalement sur Ain-Azawa à l'extrême sud de Tamanrasset .

Par ailleurs, on distingue un couloir présentant des vitesses variant de 5m/s à 6.5m/s , sur le long des hauts plateaux ouest du pays allant de Biskra jusqu'El-Bayadh en passant par Tiaret et Djelfa.

Enfin, on remarque, un micro climat, où la vitesse est supérieure à 7 m/s, autour de la région (25.7° N - 4° W) Est de Bordj-Badji-Mohktar et Sud-ouest de Reggane.

Au vu de la carte des vents, tracée à des altitudes de 20 et 50 mètres du sol, il est clair que les possibilités d'utilisation du vent à des fins énergétiques deviennent plus prometteuses à 50 mètres d'altitude.

En effet, plus de 80% du territoire national bénéficie d'une vitesse du vent supérieure ou égale à 4m/s , vitesse moyenne à partir de laquelle une éolienne démarre. Toutefois ceci reste valable pour de petites applications nécessitant de faibles puissances. La région de Bordj-Badji-Mohktar offre bien sûr de plus grandes possibilités.

En conclusion, les cartes de la vitesse du vent établies, permettent l'identification des régions prometteuses en matière d'énergie éolienne.

Pour qu'un site soit jugé exploitable avec une petite éolienne, il faut disposer au minimum d'une vitesse de l'ordre de 6m/s . En Algérie, il est clair que ceci devient possible, lorsque les éoliennes sont installées à des altitudes supérieures ou égales à 50 mètres.

### Étude comparatives des différents résultats

Afin de valoriser les résultats obtenus dans cette étude, une comparaison avec les études réalisées précédemment a été établie et représenté dans les figures suivantes :

Une comparaison entre les vitesses moyennes annuelles observées et prévues par ALADIN et aussi celles prévues

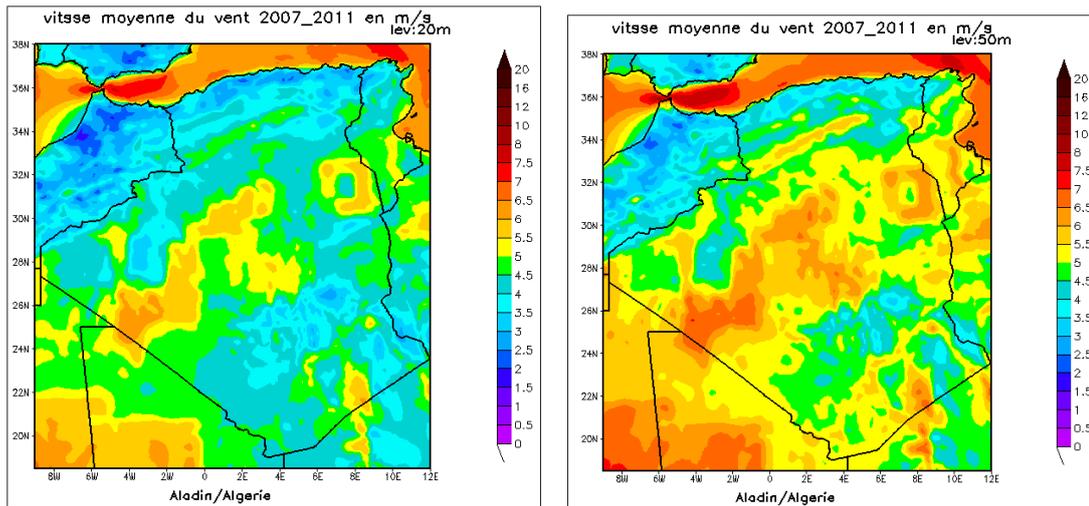


Figure 6. Carte des vents à 20 et 50 mètres

par le modèle climatique RegCM est réalisée. Les résultats sont illustrés sur l'histogramme ci-dessous.

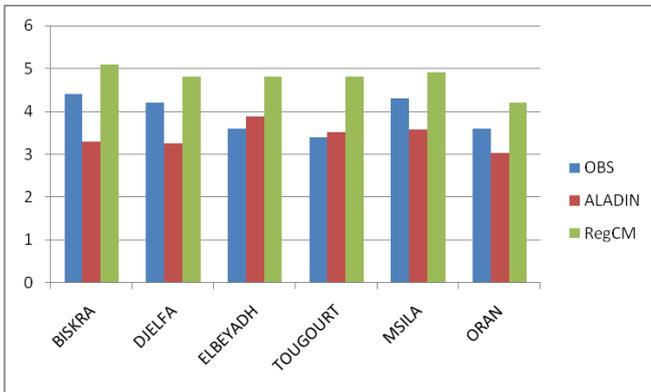


Figure 7. Histogramme représentatif des moyennes des vents observés et prévus sur quelques stations.

On remarque d'après l'histogramme présenté ci-dessus, que le modèle ALADIN prévoit bien les vitesses moyennes sur les stations de Tougourt, El-Bayadh et Oran, et sous-estime les vitesses moyennes du vent au niveau des stations de Biskra, Djelfa et M'sila. On constate que le modèle prévoit des vitesses supérieures à celles observées avec un écart inférieur à  $1\text{ m/s}$ .

Une autre étude comparative qui a été établie par Dr N.Kasbadji Merzouk nous a permis d'évaluer le produit du modèle ALADIN.

Le tableau suivant représente les vitesses moyennes annuelles observées de quelques stations d'Algérie durant deux périodes distinctes : 2001/2010 publiée dans l'Atlas Vent produit par l'ONM et 2007/2010 archivée dans la base de données du site web « Réelles prévisions », rp5.lt ainsi que les vitesses moyennes prévues par ALADIN.

La représentation graphique de ce tableau nous permet de bien voir le comportement de chaque prévision par rapport à l'observation.

La figure montre les vitesses de vent enregistrées pendant deux périodes différentes par un ensemble de stations ; on remarque que la moyenne observée pour une station diffère selon la période de son enregistrement et le nombre total d'observations prises en compte. Les vitesses moyennes prévues par ALADIN pour chaque station se comportent assez bien par rapport à l'observation pour

environ la majorité des stations. Les détails de la comparaison établie figure sur la figure 8 aux 3<sup>e</sup> et 4<sup>e</sup> images.

## 5. Conclusion

Le travail réalisé dans cette étude a permis l'élaboration d'une base de données sur une période de cinq ans, du paramètre vent à différents niveaux, s'étendant de 20 et 50 mètres du sol. Cette dernière est établie à partir des données simulées par le modèle ALADIN-Algérie.

L'Atlas des vents ALADIN établi, révèle une distribution spatiale des vents moyens différente de celle des Atlas précédents. Comme les sites les plus ventés mis en évidence par cette étude, sont loin des stations d'observations, les prévisions de vents moyens sur les stations elles-mêmes ne s'écartent pas énormément des observations, aussi sur la première période : 2001/2010 que sur la seconde : 2007/2010.

Cependant, on constate que les prévisions ALADIN sont plus proches des observations durant la période 2007/2011 (Fig.8).

En plus de son utilité dans l'estimation du potentiel éolien, ce travail constituerait un outil d'aide à la décision pour les équipes opérationnelles du Centre National des Prévisions Météorologies, car il permet de cerner le comportement du modèle ALADIN, en ce qui concerne le vent moyen, station par station.

## Références

- Beslin, G. and Multon, B. (2016). Production de l'électricité éolienne : de la caractérisation du gisement éolien aux technologies d'aérogénérateurs.
- Daaou, H. N., Haddouche, S., and Merzouk, N. K. (2003). Amélioration de la carte des vents à partir des données interpolées.
- Guerri, O. (2015). Potentiel éolien en algérie.
- Halimi, L. Présentation du réseau d'observation de la météo et du climat en algérie - disponibilité des données observées - description et disponibilité des produits climatiques.
- Helal, M. T. and Ghellai, N. (2003). Le gisement éolien à Beni-Saf région côtière de l'ouest algérien.
- Jeanmart, H. (2011). L'énergie éolienne.

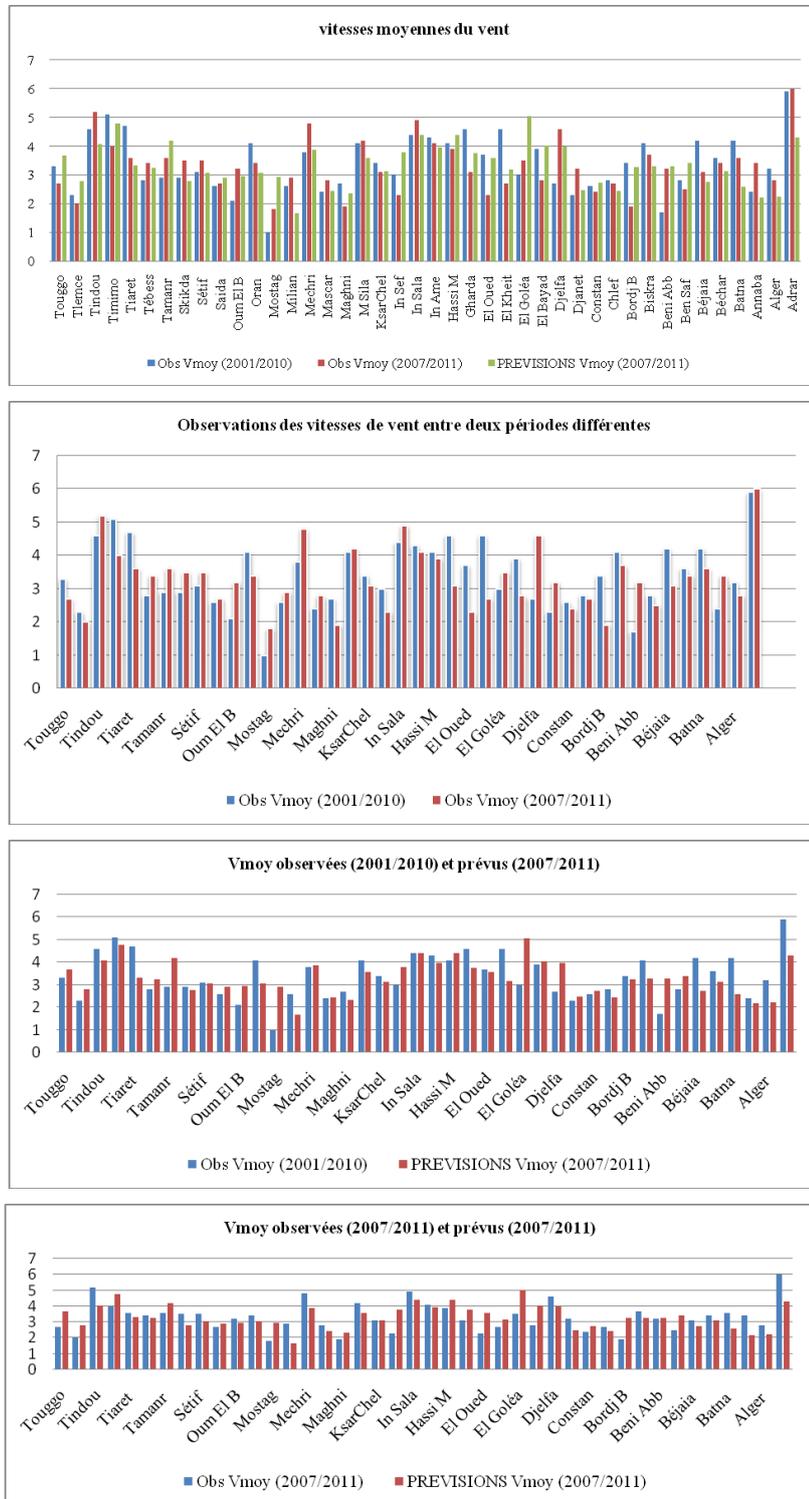


Figure 8. Histogrammes représentatifs des moyennes des vents observés et prévus sur quelques stations

**Table 2.** Vitesses moyennes observées et prévues sur quelques stations du pays

Station	Obs. $V_{moy}$ 2001-2010	Obs. $V_{moy}$ 2007-2011	Prev. $V_{moy}$ 2007-2011
Touggourt	3.3	2.7	3.68
Tlemcen	2.3	2.0	2.79
Tindouf	4.6	5.2	4.07
Timimoun	5.1	4.0	4.79
Tiaret	4.7	3.6	3.32
Tébessa	2.8	3.4	3.25
Tamanrasset	2.9	3.6	4.20
Skikda	2.9	3.5	2.78
Sétif	3.1	3.5	3.08
Saida	2.6	2.7	2.90
O.E.Bouaghi	2.1	3.2	2.96
Oran	4.1	3.4	3.08
Mostaganem	1.0	1.8	2.93
Miliana	2.6	2.9	1.67
Mechria	3.8	4.8	3.88
Mascara	2.4	2.8	2.45
Maghnia	2.7	1.9	2.34
M'Sila	4.1	4.2	3.58
K.E.Chellala	3.4	3.1	3.12
In Sefra	3.0	2.3	3.78
In Salah	4.4	4.9	4.40
In Amenas	4.3	4.1	3.96
H. Messaoud	4.1	3.9	4.40
Ghardaia	4.6	3.1	3.76
El Oued	3.7	2.3	3.59
El Kheiter	4.6	2.7	3.18
El Goléa	3.0	3.5	5.05
El Bayadh	3.9	2.8	4.03
Djelfa	2.7	4.6	3.98
Djanet	2.3	3.2	2.47
Constantine	2.6	2.4	2.73
Chlef	2.8	2.7	2.44
B.B.Arreridj	3.4	1.9	3.26
Biskra	4.1	3.7	3.29
Beni Abbès	1.7	3.2	3.29
Ben Saf	2.8	2.5	3.40
Béjaia	4.2	3.1	2.75
Béchar	3.6	3.4	3.13
Batna	4.2	3.6	2.58
Annaba	2.4	3.4	2.20
Alger	3.2	2.8	2.24
Adrar	5.9	6.0	4.30

Merzouk, N. K. (1999). Carte des vents de l'algerie - resultats preliminaires.