

# Cartographie des ressources éoliennes De l'Algérie

Par L. Aïche-Hamane et A. Khellaf

Centre de Développement de Energies Renouvelables  
B.P. 62, Route de l'Observatoire, 16340 Bouzareah Alger  
E-mail : lilia\_aiche@hotmail.com

## ملخص:

تقييم الموارد الطاقوية للرياح لبلد ما تعتبر بلا شك أهم مرحلة قبل التفكير في استغلال هذه الطاقة.

يرتكز عملنا على استعمال منهجين:

يتمثل المنهج الأول في رسم خرائط أولية لسرعة الرياح و هذا باستعمال طريقة استكمال جغرافي لمعطيات سرعة الرياح الواردة عن محطات الرصد الجوي الموزعة عبر التراب الوطني.

المنهج الثاني، و هو أكثر دقة، و يتمثل في استعمال طريقة حسابية تركز على نموذج سيلان الرياح في المناطق ذات طبيعة منحدر (جبال، منحدرات... الخ).

## Résumé :

L'estimation des ressources éoliennes d'un pays est sans doute l'étape la plus importante avant d'envisager l'exploitation de cette ressource. Dans cette étude deux approches sont proposées.

La première consiste à tracer des cartes préliminaires de vitesse de vent à partir d'une interpolation géographique des données météorologiques de vent de stations réparties à travers le territoire national.

La seconde qui est plus précise, consiste à utiliser une approche numérique basée sur la modélisation de l'écoulement du vent en terrain accidenté (montagne, crête, falaise, etc.).

Cette étude appliquée à une partie du Nord-Ouest de l'Algérie, va montrer les effets de la topographie sur l'évolution de la vitesse du vent.

## Abstract :

The evaluation of the wind resources of a country is without a doubt the most important step before considering the exploitation of this resource. In this study, two different approaches are proposed for the evaluation of the wind resources.

The first consists in drawing the preliminary maps of wind speed and wind density energy from a geographical interpolation of the wind data of the meteorological stations spread throughout the national territory.

The second, that is more precise, consists in using a numerical approach based on the modelling of the wind flow over complex terrain (mountains, peaks, cliffs, etc.).

This study, with application to a part of the Northwest region of Algeria, shows the effects of the topography on the wind speed evolution.

## Introduction

Le vent est le mouvement des masses d'air résultant du réchauffement inégal de la surface de la terre par le soleil.

Dans l'antiquité, le vent était utilisé, plus particulièrement, en agriculture avec les moulins à vent pour moudre le blé et en navigation maritime avec les bateaux à voile pour remonter les courants. De nos jours, le vent et l'énergie qu'il véhicule sont l'objet d'études et d'applications multiples dans divers domaines. Ces domaines incluent, entre autres, la climatologie, la météorologie, l'agriculture, l'urbanisme, l'environnement et bien-sûr l'énergie et la conversion énergétique.

Le domaine de l'énergie éolienne a connu un grand essor avec l'élargissement de l'installation d'aérogénérateurs pour la production électrique plus particulièrement dans les pays industrialisés (Wagner 2000, Germa et al. 2000, Gipe 2000, Gonzales Menéndez et Chaïbi 2000). De plus, la volonté de réduire les émissions de gaz responsables de l'effet de serre, a poussé beaucoup de pays à s'intéresser davantage aux énergies renouvelables dont fait partie l'éolien.

Toutefois, une bonne connaissance des caractéristiques du vent en tout site est importante pour une exploitation adéquate et viable des ressources éoliennes. Pour les systèmes de conversion énergétiques, par exemple, le besoin de données éoliennes fiable est essentiel pour la conception et l'étude de la rentabilité des systèmes.

En ce qui concerne l'Algérie, la ressource éolienne varie beaucoup d'un endroit à un autre. Ceci est principalement dû à une topographie et un climat très diversifiés. En effet, notre vaste pays, se subdivise en deux grandes zones géographiques distinctes. Le Nord méditerranéen est caractérisé par un littoral de 1200 km et un relief montagneux, représenté par les deux chaînes de l'Atlas tellien et l'Atlas saharien. Entre elles, s'intercalent des plaines et les hauts plateaux de climat continental. Le grand Sud, quant à lui, se caractérise par un climat saharien.

Dans la présente étude, nous déterminons les caractéristiques éoliennes à travers le territoire national.

La présentation des résultats sous forme de contours cartographiques permet non seulement de quantifier mais aussi et surtout de visualiser d'une façon simple et pratique les ressources éoliennes.

Les cartes préliminaires de vitesse de vent, obtenues à partir des données météorologiques, donnent une idée générale sur la répartition géographique de la vitesse du vent à travers l'Algérie. Elle permet de faire une première identification des régions ventées.

Toutefois, cette étude n'est pas représentative des variations de la vitesse qui peuvent être importante en particulier dans les régions de terrain accidenté. En effet le vent est un phénomène dont l'écoulement non seulement obéit à de très complexes lois de la dynamique des fluides et aux forces physiques résultantes de la rotation de la terre mais est affecté aussi par les océans et les continents et leur relief respectif. Afin d'améliorer la qualité de ces cartes, il est nécessaire de prendre en considération les paramètres qui modifient l'écoulement du vent. Pour cela, nous avons sélectionné une région de l'Algérie à laquelle nous avons appliqué un modèle d'écoulement du vent. Ce modèle va permettre de produire un champ de vitesse à partir d'un nombre limité de stations de mesure en introduisant les effets de la topographie pour des conditions atmosphériques neutres.

La comparaison des résultats obtenus par les deux approches va montrer les effets de la topographie sur l'évolution de la vitesse.

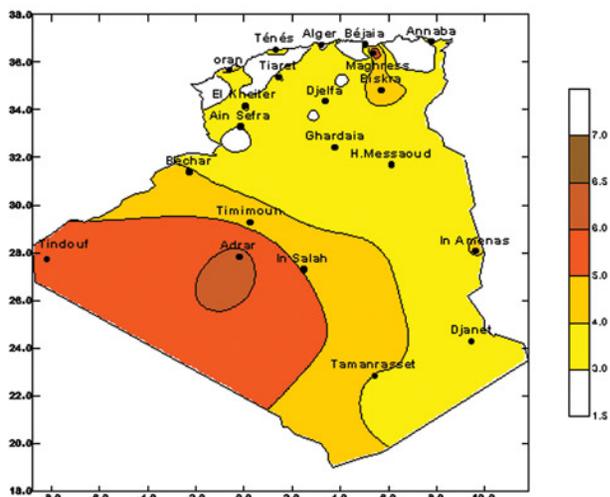


Figure 1. Carte annuelle de la vitesse moyenne du vent à 10 m du sol.

## 2. CARTES PRELIMINAIRE DU VENT

Une étude préliminaire de l'évolution mensuelle, saisonnière et annuelle de la vitesse moyenne du vent (Aïche-Hamane 3002, Hamane et Khellaf 2000 a ), a permis de tracer des cartes de vitesse de vent.

Elle est basée sur le traitement de données de vitesses mensuelles moyennes de vent, mesurée à 10 m du sol, de 75 stations météorologiques du réseau de l'Office National de la Météorologie (ONM).

Cette représentation de la vitesse sous forme de cartes, a deux objectifs : le premier est d'identifier les vastes régions avec de bonnes promesses d'exploitation de l'énergie éolienne. Le second est de mettre en évidence la variation relative de la ressource à travers l'Algérie.

La carte de vitesse de vent annuelle à 10 m au-dessus du sol, représentée en figure 1, montre globalement que le Sud est caractérisé par des vitesses plus élevées que le Nord, plus particulièrement, le Sud-ouest avec des vitesses supérieures à 4 m/s et qui dépassent la valeur de 6 m/s dans la région d'Adrar. Concernant le Nord, on remarque que la vitesse moyenne est peu élevée. Néanmoins, on note l'existence de microclimats dans les régions d'Oran, Béjaïa et Annaba, sur les hauts plateaux de Tيارت et El Kheiter ainsi que sur toute la région située sur l'axe de Bejaïa-Biskra.

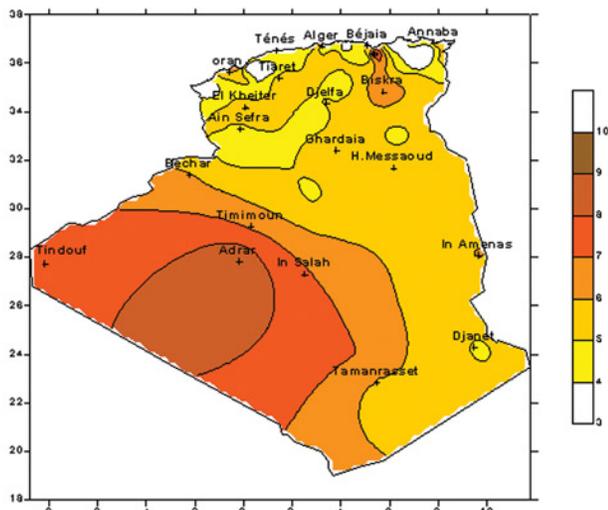


Figure 2. Carte annuelle de la vitesse moyenne du vent à 50 m du sol.

Par ailleurs, des études (Hamane et Khellaf 2000 b) ont montré que la vitesse du vent augmente en fonction de la hauteur. De même, l'énergie captée par un aérogénérateur est proportionnelle à la hauteur d'emplacement de ses pales (Hamane et al. 2000 c).

D'un autre côté, le vent subit des variations en fonction des saisons qu'il serait intéressant de quantifier pour une meilleure exploitation des systèmes de conversion de l'énergie éolienne sachant que les besoins énergétiques varient en fonction des saisons. Dans le domaine de l'agriculture par exemple, l'utilisation des éoliennes de pompage de l'eau pour l'irrigation dépendra des périodes de pluies. Elle sera plus grande en été qu'en hiver.

Pour ces différentes raisons, la vitesse moyenne annuelle et saisonnière du vent a été calculée pour la hauteur de 50 m au-dessus du sol au moyen du modèle de puissance (Justus et Mikhail 1976). La figure 2, représentant la carte de vitesse annuelle du vent à 50 m du sol, montre que la vitesse du vent est plus importante sur tout le territoire. En effet, les vitesses qui sont supérieures à 4 m/s dans la partie du sud-ouest à 10 m du sol, dépassent 6 m/s pour une hauteur de 50 m et sont supérieures à 8 m/s dans la région d'Adrar.

Les cartes saisonnières représentées en figure 3, montrent que l'hiver et l'automne sont les saisons les moins ventées et que le printemps est la saison la plus ventée. On note également, que ces variations saisonnières sont différentes d'un site à un autre. Des sites, tels que Oran, El Kheiter, Timimoun, Tindouf, Adrar, Tamanrasset et Hassi-Messaoud ont des vitesses constantes en hiver et en automne et élevées en été et au printemps.

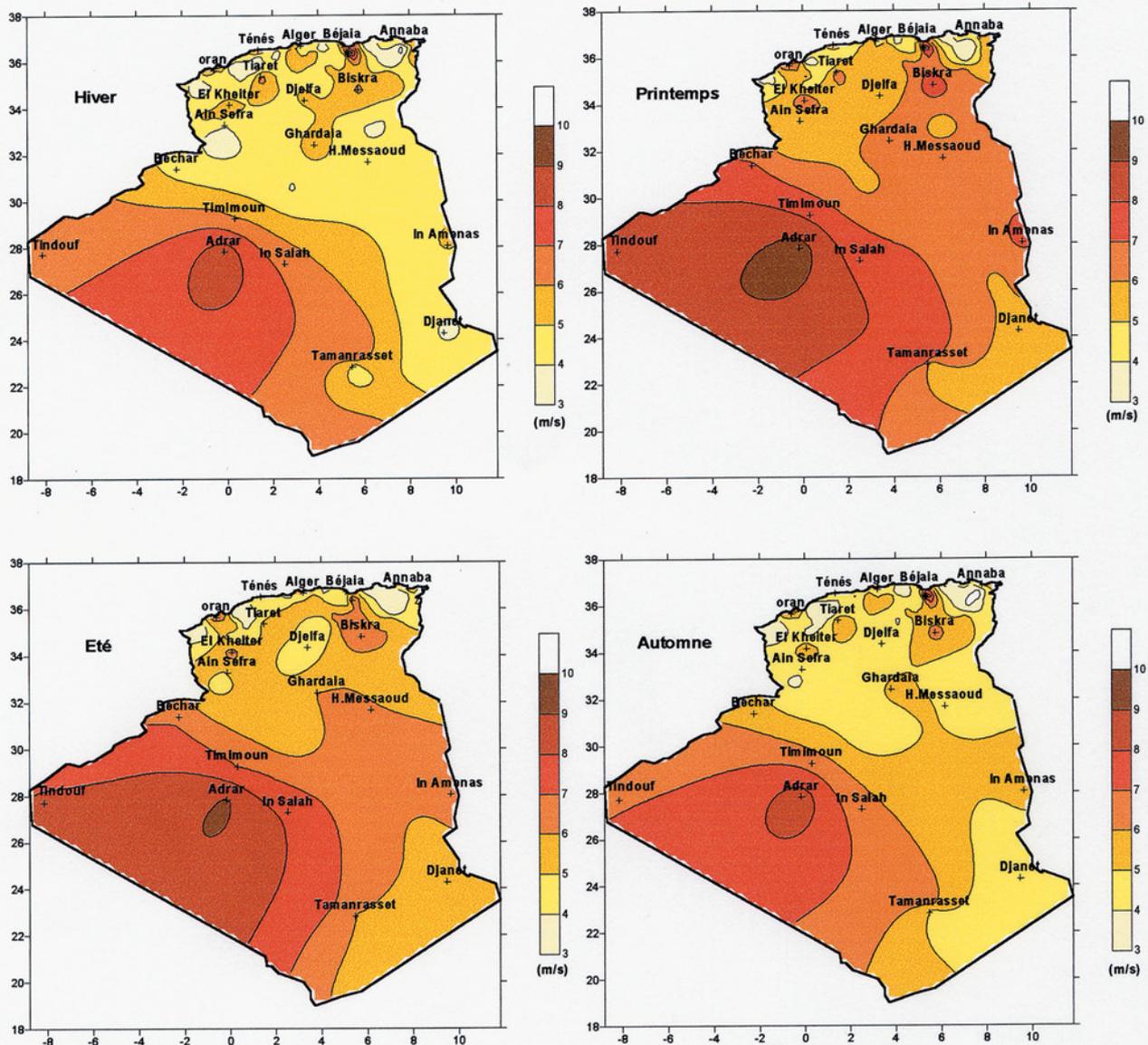


Figure 3. Cartes saisonnières de la vitesse du vent à 50m du sol

Le site de Biskra, quant à lui, se caractérise par une vitesse qui augmente au printemps mais qui reste relativement constante pour le reste des saisons. Un site comme Annaba, est considéré comme idéal pour une application éolienne car sa vitesse reste constante dans l'intervalle entre 5 et 6 m/s pour toutes les saisons.

Il est à signaler, que ces cartes préliminaires qui donnent un aspect général, ne suffisent pas à l'identification de toutes les régions ventées de l'Algérie pour plusieurs raisons. La plus importante est le nombre insuffisant de stations de mesure comparé à l'étendu de notre pays.

De plus, les mesures effectuées au niveau de ces stations sont plus destinées à la météorologie et à la navigation aérienne. Finalement, leurs positions géographiques ne sont pas nécessairement représentatives des régions possédant les vitesses les plus élevées.

D'un autre côté, l'utilisation d'une méthode d'interpolation géographique ne reflète pas les variations réelles de la vitesse (accélération et décélération) qui surviennent en présence

d'obstacles, particulièrement pour les régions où la topographie varie de façon significative (montagnes, falaises, etc.) ainsi que dans les centres urbains.

Afin d'avoir des cartes plus réalistes, il est nécessaire de prendre en considération les différents paramètres qui modifient l'écoulement du vent, à savoir : l'orographie du terrain, la rugosité du sol, les obstacles, les conditions de stabilité atmosphérique, etc.

La complexité des phénomènes décrivant ces paramètres, va nécessiter de recourir à la modélisation numérique.

### 3. REGION D'APPLICATION

La région sélectionnée est située au Nord-ouest de l'Algérie, sur une surface de 14310 km<sup>2</sup>. Elle s'étend de 190 km à 279 km Lambert en longitude et de 162 km à 320 km Lambert en latitude. Elle est limitée par la mer au Nord et par les hauts plateaux au Sud. La figure 4 représente le relief de la région pour une résolution de 1km.

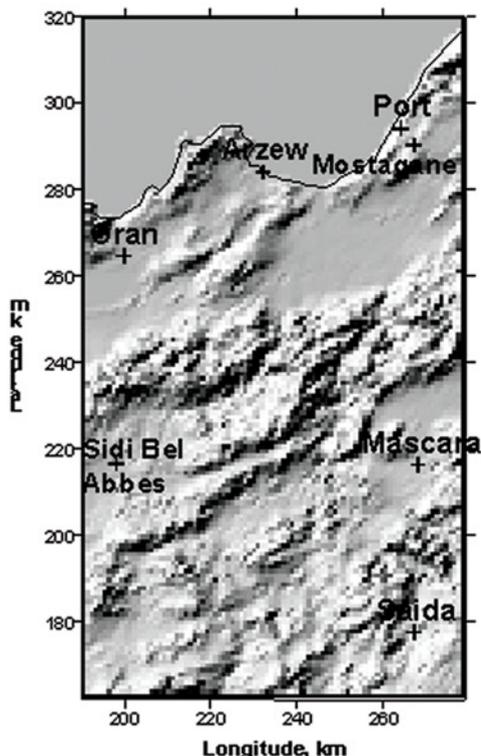


Figure 4. Relief de la région choisie avec une résolution de 1 km

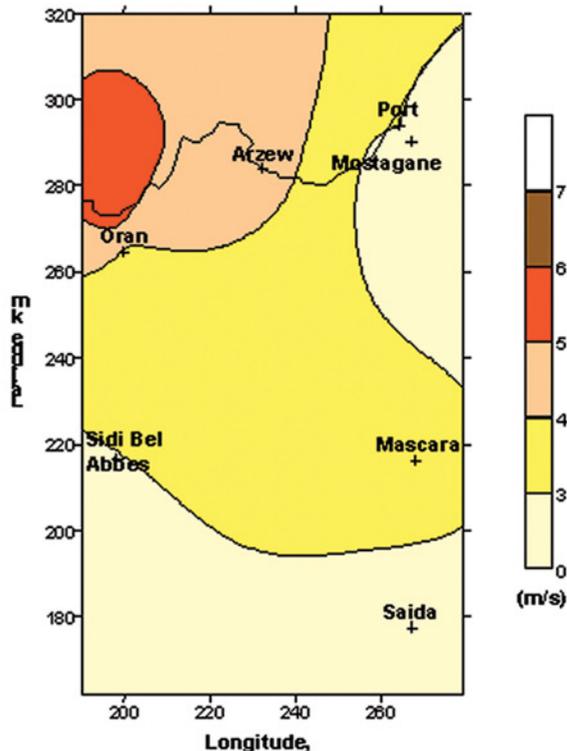


Figure 5. Tracé des iso-vitesses moyenne à 10 m du sol.

On remarque que la zone côtière présente un relief, particulièrement entre Oran et Arzew, où l'on trouve des falaises de plus de 200 m et on atteint une hauteur de 630 m à 2 km à peine de la mer. Entre la côte et les plaines de Sidi Bel Abbès et Mascara on a une bande de 20 kilomètres de large caractérisé par un relief accidenté.

Enfin, au Sud de Saïda, on se trouve dans une zone montagneuse d'altitudes dépassant 1000 m avec un maximum de 1370 m au Sud-ouest.

A partir de la carte préliminaire donnée en figure 1, nous avons sélectionné la partie qui représente la région d'étude. Les isovitesses, déduits des données de l'ONM par la méthode d'interpolation, sont représentées en figure 5.

On remarque que la vitesse est inférieure à 3 m/s dans la partie sud englobant la région de Saïda. La vitesse est comprise entre 3 m/s et 4 m/s sur la plus grande partie de la région d'étude. Elle est supérieure à 4 m/s au Nord-ouest.

En comparant ces résultats avec le relief donné par la figure 4, on pourrait croire que la topographie n'a pas d'influence sur l'évolution de la vitesse. Ce qui est en contradiction avec la réalité.

En effet, des études (Mason et King 1985) ont montré que la topographie est un paramètre déterminant pour les écoulements de l'air puisqu'il contribue à l'accélération et la décélération de la vitesse du vent.

		AÏN-BOUDINAR N° 102	MERSSA-EL-HADJADJ N° 103
	ARZEW N° 127	MOSTAGANEM N° 128	BEL HACEL N° 129
ORAN N° 153	GDYEL N° 154	DEBROUSSVILLE N° 155	IGHILIZANE N° 156
ARBAL N° 181	SIG N° 182	MOHAMMADIA N° 183	AÏN-FARES N° 184
AÏN-EL-BERD N° 210	BOU DJEBAA N° 211	MASCARA N° 212	TIGHENIF N° 213
SIDI BEL ABBES N° 241	SFIZEF N° 242	OUED TARIA N° 243	NE SMOT N° 244
SID ALI BEN YOUB N° 272	YOUB N° 273	MEFTAH N° 274	BALLOUL N° 275
TELAGH N° 302	MERINE N° 303	SAÏDA N° 304	DJEBEL SIDI YOUCEF N° 305

Tableau 1 Cartes topographiques contenues dans la région d'application.

## 4. APPROCHE NUMERIQUE

### 4.1 Modélisation de l'écoulement du vent

Les modèles d'écoulement du vent en vue de l'estimation du potentiel éolien en terrain accidenté sont très nombreux. Les différences entre ces modèles résident dans les hypothèses physiques considérées, les données d'entrées et les conditions aux limites [Montavon 1998].

Des études comparatives (Montavon 1998, Ratto 1994 et Tombrou et al ; 1993) ont montré que les modèles dits de conservation de masse sont le plus souvent utilisés car ils représentent un outil de calcul simple et peu coûteux en temps et en données d'entrées. Ces modèles produisent un champ de vent stationnaire qui satisfait l'équation de continuité d'un fluide incompressible.

Le code AIOLOS (Lalas 1985 et Tombrou et Lalas 1990) fait parti de cette classe de modèles. Il permet de produire un champ de vent non divergent en deux étapes :

- Une phase d'initialisation qui transforme N vecteurs donnés en un champ de vent initial connu dans tout le domaine de calcul grâce à une procédure d'interpolation spatiale et d'extrapolation verticale.

- Une phase d'ajustement qui est constitué d'une procédure de minimisation utilisant un calcul variationnel qui transforme le champ de vent initial en un champ de vent ajusté satisfaisant la conservation de masse.

Ce code a été validé (Aïche-Hamane 2003) grâce à une comparaison des vitesses de vent estimées avec celles mesurées au niveau de stations météorologiques du réseau de l'Office National de la Météorologie.

### 4.2 Données de vent

L'initialisation du code AIOLOS nécessite la connaissance du champ de vent géostrophique régnant dans l'atmosphère libre. Ce champ initial a été obtenu à partir de l'interpolation spatiale par la méthode Kriging des vitesses de vent traitées statistiquement de trois points mesurées par radiosondage (European Centre for Medium Range Weather Forecasting) à une hauteur manométrique de 700 hecto-pascals.

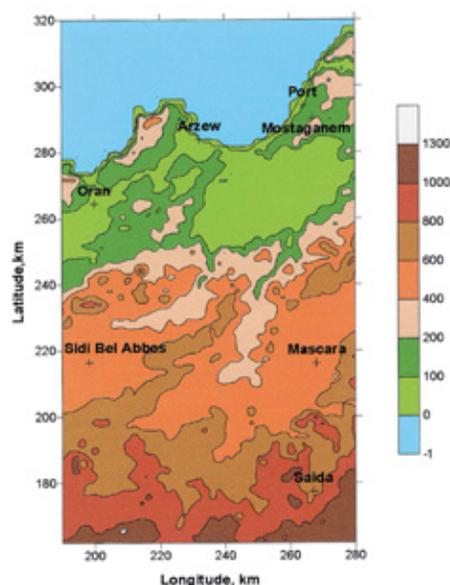


Figure 6. Tracé des iso-altitudes pour un pas de 2 km.

### 4.3 Données de l'orographie

La hauteur du terrain par rapport au niveau de la mer doit être spécifiée en chaque nœud de maille selon le pas choisi.

Ces données ont été obtenues à partir de la lecture des altitudes sur les courbes de niveau représentées sur des cartes topographiques au 1/50 000 000. Les cartes utilisées sont données au tableau 1.

Les iso-altitudes tracées pour un pas de maille de 2 km sont représentées en figure 6.

### 4.4 Données de rugosité

La rugosité du sol qui définit la nature de terrain doit être spécifiée en chaque nœud de maille. Deux valeurs sont considérées. Une longueur de rugosité de 0.0001m affecté à la mer et une valeur de 0.05 m affecté à la terre.

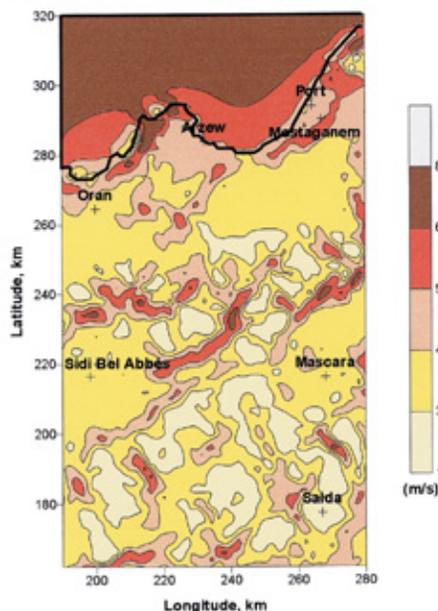


Figure 7. Tracé des isovitesses estimées par le code AIOLOS à 10 m du sol.

### 4.5 Carte des vitesses estimées

Le code AIOLOS a été simulé pour un pas de maille de 2 kilomètres. Il produit la vitesse moyenne en chaque nœud de maille pour huit secteurs de direction, en l'occurrence, le Nord, le Nord-est, l'Est, le Sud-est, le Sud, le Sud-ouest, l'Ouest et le Nord-ouest.

La vitesse moyenne est calculée à partir de la formulation proposée par Lalas (Lalas 2000) :

$$V_{\text{moy}} = \sum_{i=1}^8 f_i v_i \left( \frac{Q_i}{10} \right)$$

Où:

- $i$  : Varie de 1 à 8 selon les huit directions choisies.
- $f_i$  : Fréquence de la direction  $i$  en chaque nœud du maillage à 700 hpa
- $V_i$  : Vitesse à 700 hpa, dans la direction  $i$  en chaque nœud du maillage, représentée par le vent géostrophique, (m/s)
- $Q_i$  : Vitesse calculée par AIOLOS, dans la direction  $i$  en chaque nœud du maillage, pour la hauteur de 10m(m/s)
- $\rho$  : Densité de masse de l'air égale à 1.2 kg/m<sup>3</sup>

Les isovitesses moyennes estimées par le code AIOLOS sont représentées en figure 7 pour un pas de maille de 2 km.

En les comparant aux isovitesses moyennes données par l'étude préliminaire en figure 5, on constate que le code AIOLOS permet de produire une carte plus précise.

De plus, en comparant les contours des vitesses estimées par notre code aux iso-altitudes, on remarque que les variations de la vitesse suivent celles des altitudes. On note aussi, que les vitesses élevées correspondent à des reliefs prononcés.

Par ailleurs, la figure 7 montre que les régions longeant la côte sont assez bien ventées avec des vitesses supérieures à 4 m/s et qui dépassent 6 m/s à l'Ouest d'Arzew.

Les régions entourant Mascara et Sidi Bel Abbes sont caractérisées par des vitesses comprises entre 3m/s et 4 m/s. Plus au sud, on remarque que la vitesse varie beaucoup car on se trouve dans une zone montagneuse qui présente un terrain accidenté.

## 5. CONCLUSION

La cartographie de la ressource éolienne est très complexe vu le nombre important de paramètres qui influe l'écoulement du vent.

En effet, le vent subit des variations en fonction de la saison, de l'année et l'heure de la journée. De même qu'il varie en fonction de l'altitude et de la position géographique.

Cette étude a montré que l'utilisation d'une méthode d'interpolation géographique des vitesses de vent n'est pas représentative des variations de la vitesse d'autant plus que le nombre de stations de mesure est insuffisant pour couvrir un territoire aussi vaste que l'Algérie.

L'application du modèle de conservation de masse AIOLOS a montré que la topographie est l'un des plus important paramètre influant le comportement du vent. Son utilisation, permet de tracer des cartes de vitesse du vent avec la précision voulue. Pour cela, il suffit d'avoir un contour topographique avec la résolution choisie.

D'ailleurs, ce type de modèles sont spécialement désignés pour prédire les effets de la topographie sur les écoulements de vent.

## Références Bibliographiques:

- \* Aïche-Hamane L., 2003, "Contribution à l'élaboration de la carte du gisement énergétique éolien de l'Algérie", Mémoire de magister, institut de mécanique, université de Blida.
- \* Germa, J. M.; Page A. et McGrath T.; 2000, "50 Mw of wind power for Morocco: Al Koudia Al Beida wind farm"; Renewable Energy World; vol; 3, issue 4, pp. 158-169
- \* Gipe, P.; (2000); "Wind booms worldwide: latest BMT reports paints a promising picture"; Renewable Energy World; vol; 3, issue 4, pp. 132-
- \* Gonzales Menendez A. et Chaïbi M. H. ; 2000 ; "Centrale éolienne de Sidi Daoud"; MEDETEC, vol. 3 ; pp.62-73
- \* Hamane, L. et Khellaf, A., 2000a, "Wind energy resources in Algeria", WREC 2000, pp.2352-2355, Brighton, UK.
- \* Hamane, L. et Khellaf, A., 2000b, "Evaluation des ressources énergétiques éoliennes de l'Algérie", Proc. CHEMSS 2000, pp.374-379, Alger.
- \* Hamane, L., Khellaf et Ait Messaoudene, N., 2000 "Estimation de la puissance annuelle moyenne de sortie d'une éolienne", SIPE'5, Béchar.
- \* Justus, C. G. et W.R., Mikhail, 1976, "Height variation of wind speed and wind distributions statistics", Geophysical Research Letters, vol.3, No.5, pp261-264.
- \* Lalas, D. P.; 1985; "Wind energy estimation and siting in complex terrain"; Int. J. Solar Energy, vol.3, pp.43-71.
- \* Mason, P. J. et King, J. C.; 1985; "Measurements and predictions of flow and turbulence over an isolated hill of moderate slope"; Quart. J. R. Met. Soc., vol.111, pp.617-640.
- \* Montavon, C., 1998, "Simulation of atmospheric flows over complex terrain for wind power assessment", Thèse de Ph.D; Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Suisse.
- \* Ratto, C. F., Festa, R., Romeo, C., Frumento, O. A. et Galluzzi, M., 1994, "Mass-consistent models for wind fields over complex terrain: the state of the art", Environmental Software, vol.9, pp.247-268.
- \* Tombrou, M., Lalas, D.P. et Panourgias, J.; 1993, "Tests of prediction effectiveness of wind energy computer models in complex terrain"; Proc. ECWEC, pp. 599-602.
- \* Tombrou, M. et Lalas, D. P., 1990; "A telescoping procedure for local wind energy potential assessment"; ECWEC 1990, Madrid.
- \* Wagner A.; 2000; "The growth of wind energy in Europe"; MEDETEC 3; pp.8 -25.