

Introduction

L'énergie cinétique de vent constitue une ressource énergétique inépuisable mais fluctuante. Pour toute installation d'une éolienne dans un endroit, il faut d'abord une étude des caractéristiques des sites [1].

Le potentiel éolien d'un site est défini par comme l'énergie extractible durant une période donnée (typiquement une année) de fonctionnement d'une éolienne donnée sur ce site[2]. Pour l'évaluer, il faut disposer de la distribution des vitesses de vent sur le site. De plus, lors de la définition du site d'implantation d'un parc éolien donné, d'autres paramètres doivent être pris en compte et il est nécessaire d'établir la distinction suivante0:

« L'évaluation de la ressource éolienne s'étend de l'estimation générale de l'énergie moyenne contenue dans le vent au-dessus d'une vaste région – évaluation régionale – au calcul de la production d'énergie annuelle moyenne d'un aérogénérateur spécifique pour un site donné appelé choix de site (siting) ... »

Dans le présent chapitre, le but de travail :

- Quantifier la ressource éolienne sur les sites d'application.
- Estimer la puissance moyenne annuelle disponible sur ces sites.

III-1 Critères de choix des sites éoliens

Avant d'implanter une ou plusieurs éoliennes, l'observation du potentiel éolien, c'est-à-dire l'histoire des vents du site, depuis au moins une décennie, est fondamentale. De plus, pour avoir une idée des variations durant l'année, une étude de la répartition du vent est réalisée sur place pendant cette période [4,5].

En général, un lieu en hauteur et éloigné des habitations est privilégié pour la mise en place de l'éolienne car son efficacité dépend grandement de son emplacement.

En effet, la puissance fournie augmente avec le cube de la vitesse du vent, et les sites seront d'abord choisis en fonction de la permanence de vents de force suffisante. Un site avec des vents d'environ 30km/h en moyenne sera toujours bien meilleur (de l'ordre de 8 fois) qu'un autre site avec des vents de 15km/h en moyenne.

Un autre critère important pour le choix du site est la constance de la vitesse et de la direction du vent, autrement dit la turbulence dû vent. En effet, en règle générale, les éoliennes sont utilisables quand la vitesse du vent est supérieure à une valeur comprise entre 10 et 20km/h, sans toutefois atteindre des valeurs excessives qui conduiraient soit à la destruction de l'éolienne, soit à des coûts de construction et de maintenance prohibitifs. La vitesse du vent doit donc être comprise le plus souvent possible entre ces deux valeurs pour un fonctionnement optimal de l'éolienne. De même, l'axe de rotation de l'éolienne doit rester le plus clair du temps parallèle à la direction du vent. Même avec un système d'orientation de la nacelle performant, il est donc préférable d'avoir un vent le moins fluctuant possible dans sa direction pour obtenir un rendement optimal.

Certains sites sont ainsi à proscrire car le vent est trop turbulent : la proximité d'obstacles (arbres, bâtiments, escarpements...).

On recherche habituellement les sites propices à l'installation d'éoliennes en observant les arbres et la végétation. Le site est intéressant s'ils sont constamment courbés par les vents. Une autre façon de procéder est d'utiliser une carte de la vitesse des vents, ou des données accumulées par une station météorologique proche.

Certains sites bien spécifiques sont particulièrement propices à un bon rendement :

- L'effet tunnel ou effet Venturi : au niveau des cols entre deux montagnes, ou entre deux grands bâtiments, le vent est souvent plus fort. L'air est comprimé entre les montagnes ou les bâtiments, et, pour garder un débit d'air constant, la vitesse augmente donc considérablement. De plus, le vent garde souvent une direction constante. Ces lieux sont donc très appropriés pour les éoliennes. Le problème est qu'ils sont souvent restreints et qu'il est difficile d'y placer une grande quantité d'éoliennes.
- La mer et les lacs sont aussi des emplacements de choix [6]: il n'y a aucun obstacle au vent, et donc, même à basse altitude, les vents ont une vitesse importante. La proximité d'une côte escarpée, en revanche, créera également des turbulences à éviter.

L'évaluation régionale s'inscrit dans une phase que nous appellerons de pré-siting. Selon [7], cette phase fait la synthèse du point de vue environnemental, légal, sociologique et de l'évaluation régionale du potentiel. Elle permet le choix d'une zone préférentielle d'implantation d'éoliennes. Les données de potentiel éolien issues de l'évaluation régionale proviennent de modèles d'interpolation des données statistiques de vent issues du traitement de plusieurs dizaines d'années de données du réseau météorologique. Ces modèles permettent, à terre, l'obtention des cartes de potentiel éolien à petite échelle spatiale (haute résolution spatiale).

La phase de siting comprend l'analyse fine de la zone sélectionnée [3], permettant par exemple l'optimisation du placement des machines. Cette phase consiste en l'implantation d'un mât de mesure sur le site, de façon à en évaluer les caractéristiques fines à différentes altitudes et de connaître les micro-variations de la ressource éolienne ainsi que le comportement du profil de vitesses de vent. Ceci implique une campagne de mesure de longue durée mais offre la certitude d'une bonne connaissance du site.

III-2 Choix d'un site éolien

Des données météorologiques [8], reproduites de préférence en forme d'une rose des vents sur 30 ans, seront probablement le meilleur guide, mais ces données ne sont que très rarement collectées sur le site exact en question, et de plus, comme nous l'expliquerons un peu plus loin, on doit pour plusieurs raisons toujours se servir de données météorologiques avec beaucoup de prudence.

S'il y a déjà des éoliennes à proximité, leur production d'électricité constitue un indicateur excellent de la ressource éolienne locale. Dans des pays comme le Danemark et l'Allemagne où l'on trouve souvent des éoliennes dispersées un peu partout dans le pays, les constructeurs sont le plus souvent en mesure de fournir des résultats de production à base de calculs éoliens réalisés sur le site en question.

III-2-1 Recherche d'une vue dégagée

Il faut de préférence avoir une vue aussi dégagée que possible dans la direction des vents dominants. De même, il faut qu'il y ait aussi peu d'obstacles et une rugosité aussi faible que possible dans cette direction.

Si de plus, vous réussissez à trouver une colline à pentes douces, il est même possible d'obtenir un effet accélérateur.

III-2-2 Raccordement au réseau

Les grandes éoliennes doivent évidemment être raccordées au réseau électrique. Lorsqu'il s'agit de projets éoliens de moindre envergure, il est donc primordial que l'éolienne soit installée relativement près d'une ligne électrique de 10 à 30 kilovolts (kV) afin d'éviter que les coûts de pose de nouveaux câbles ne soient exorbitants.

Evidemment, la question de savoir qui va payer pour l'extension des lignes électriques n'est pas sans importance dans ce contexte.

Les générateurs des grandes éoliennes modernes produisent normalement de l'électricité à 690 V. Un transformateur situé soit à côté de l'éolienne, soit à l'intérieur de sa tour, convertit l'électricité en haute tension.

III-2-3 Renforcement du réseau électrique

Le réseau électrique près de l'éolienne installée doit être mis en état de recevoir l'électricité qu'elle produit. Si beaucoup d'éoliennes ont déjà été raccordées au réseau, il est possible qu'il faille le renforcer en posant un plus grand câble qui sera éventuellement raccordé plus près d'une station de transformation à haute tension.

III-2-4 Infrastructure

Lors de l'élaboration d'un projet éolien, il faut toujours tenir compte des coûts liés à l'établissement des fondations des éoliennes et à la construction d'un chemin permettant aux camions lourds de gagner le site.

III-2-5 Risques liés à l'usage de données météorologiques

Les météorologues recueillent déjà des données météorologiques pour leurs prévisions du temps et pour l'aviation. Très souvent, ces données sont également utilisées pour évaluer les conditions éoliennes générales dans une région déterminée.

Cependant, des mesures précises de la vitesse du vent - et donc de l'énergie éolienne - sont bien plus importantes pour la réalisation d'un projet éolien que c'est le cas lorsqu'il s'agit de faire des prévisions du temps.

Ainsi, la vitesse du vent se trouve très influencée par la rugosité de la zone environnante, par les obstacles avoisinants (arbres, phares, bâtiments,...) et par les contours du terrain local.

A moins que vous ne fassiez des calculs qui compensent les conditions locales prévalant à l'endroit où les mesures météorologiques ont été réalisées, il est très difficile de faire des estimations de la ressource éolienne sur un site donné, même lorsque celui-ci est situé à proximité de la station météo. Dans la plupart des cas, on risque de sous-estimer le potentiel éolien si l'on se sert de données météorologiques sans les ajuster pour le site en question.

III-3 l'Office National de la Météorologie (O.N.M)

L'Office National de la Météorologie (O.N.M) est un établissement public à caractère industriel et commercial sous la tutelle du ministère des transports et son siège est situé à Alger.

L'Office a pour mission la mise en œuvre de la politique nationale dans le domaine de la météorologie et ce, en liaison avec les institutions concernées. Il doit également contribuer à la sécurité et au développement des secteurs socio-économiques.

Il est chargé entre autre d'assurer l'acquisition, le traitement, l'exploitation et la diffusion des données météorologiques nationales et internationales (en relation avec l'OMM, l'office mondial de la météorologie).

III-4 La région d'Adrar

Le choix porte sur sites sahariens [9], connus pour leurs besoins en eau et caractérisée par un potentiel énergétique éolien intéressant comparativement au nord du pays.

L'existence de la nappe albienne dans la région d'Adrar est un avantage supplémentaire grâce à la faible profondeur du toit du réservoir. Avantage qui milite en faveur du montage mécanique, plus performant et moins coûteux pour les faibles profondeurs.

Pour les forages (donc des profondeurs importantes) la solution réside dans le pompage par aérogénérateurs.

La Wilaya d'ADRAR: **Longitude** (deg) 0.28; **Latitude** (deg) 27.82; **Rugosité** (m) 0.01; **V** (m/s) 5.9 [10].

La Wilaya d'ADRAR [11] s'étend sur la partie du Sud Ouest Algérien et couvre une superficie globale de 427.968 KM² soit 17,98 % du territoire National, pour une population estimée à 406.318 habitants au 31.12.2008. La densité est de 0,94 habitant /km².

Elle est limitée par :

* Au Nord	:	La Wilaya d'EL-BAYADH
* Au Nord Ouest	:	La Wilaya de BECHAR
* A l'Ouest	:	La Wilaya de TINDOUF
* Au Sud	:	Le MALI
* Au Sud Ouest	:	La MAURITANIE
* Au Sud Est	:	La Wilaya de TAMANRASSET
* Au Nord Est	:	La Wilaya de GHARDAIA

III-4-1 Le Relief

La wilaya d'Adrar se caractérise par un relief d'aspect désertique se subdivisant en 03 grands ensembles Géomorphologiques que sont :

A) Les Plateaux

Couvrent de très grandes surfaces et sont constituées de formation géologiques différentes.

- Crétacé inférieur du continental intercalaire.
- Crétacé supérieur secondaire marin
- Mio-Pliocène

Comme exemple : Le plateau du Tanezrouft.

B) Les Ergs

Massifs dunaires s'étendant sur près de la moitié de la wilaya. Ils se sont formés au cours des temps quaternaires tels que le Grand Erg Occidental et l'Erg Chèche.

Véritable curiosité touristique dans la région du Gourara en particulier.

C) Les Sebka

Correspondants aux puits les plus bas et appartiennent généralement aux anciens lits d'oueds très larges, elles sont formées de dépôts confluviaux gypseux.

La sebka de Timimoune, la sebka de Timokten, de Bouda ...

III-4-2 Climatologie

Le climat de la wilaya d'Adrar est composé de 02 zones climatiques distinctes :

- Une zone semi désertiques qui part de Timimoune vers Béchar.
- Une zone désertique partant de Timimoune vers Timioaouine.

A) Les Températures

La wilaya d'Adrar enregistre des écarts de températures considérables. En été les températures sont maximales jusqu'à 45°C (juin-juillet – août).

En hiver les températures peuvent atteindre parfois les 0°C en décembre et janvier.

B) Les Vents

La fréquence des vents est très grande durant toute l'année, notamment le sirocco dont la vitesse peut atteindre les 100KM/H.

Généralement, la saison du printemps (mars-avril), connaît une fréquence plus grande de vents de sable. La wilaya d'Adrar se compose de régions suivantes :

- GOURARA : région de Timimoune A = 65.203 Km² (NORD)
- TOUAT : région d'Adrar A = 205.650 Km² (Centre)
- TIDIKELT : région d'Aoulèf A = 24.536 Km² (Sud-Est).
- TANEZROUFT : région de Bordj Badji- Mokhtar A =132.579 Km² (Sud-ouest)

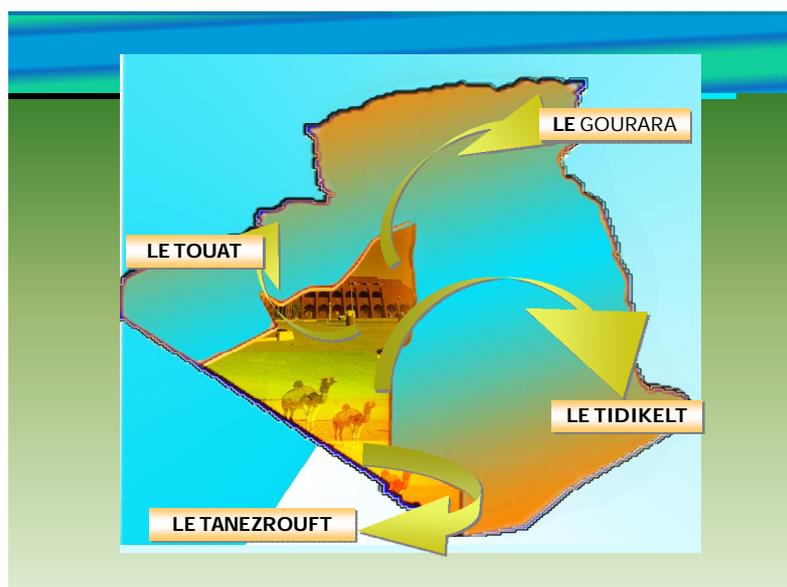


Figure III-1 : Carte de La région d'Adrar [11]

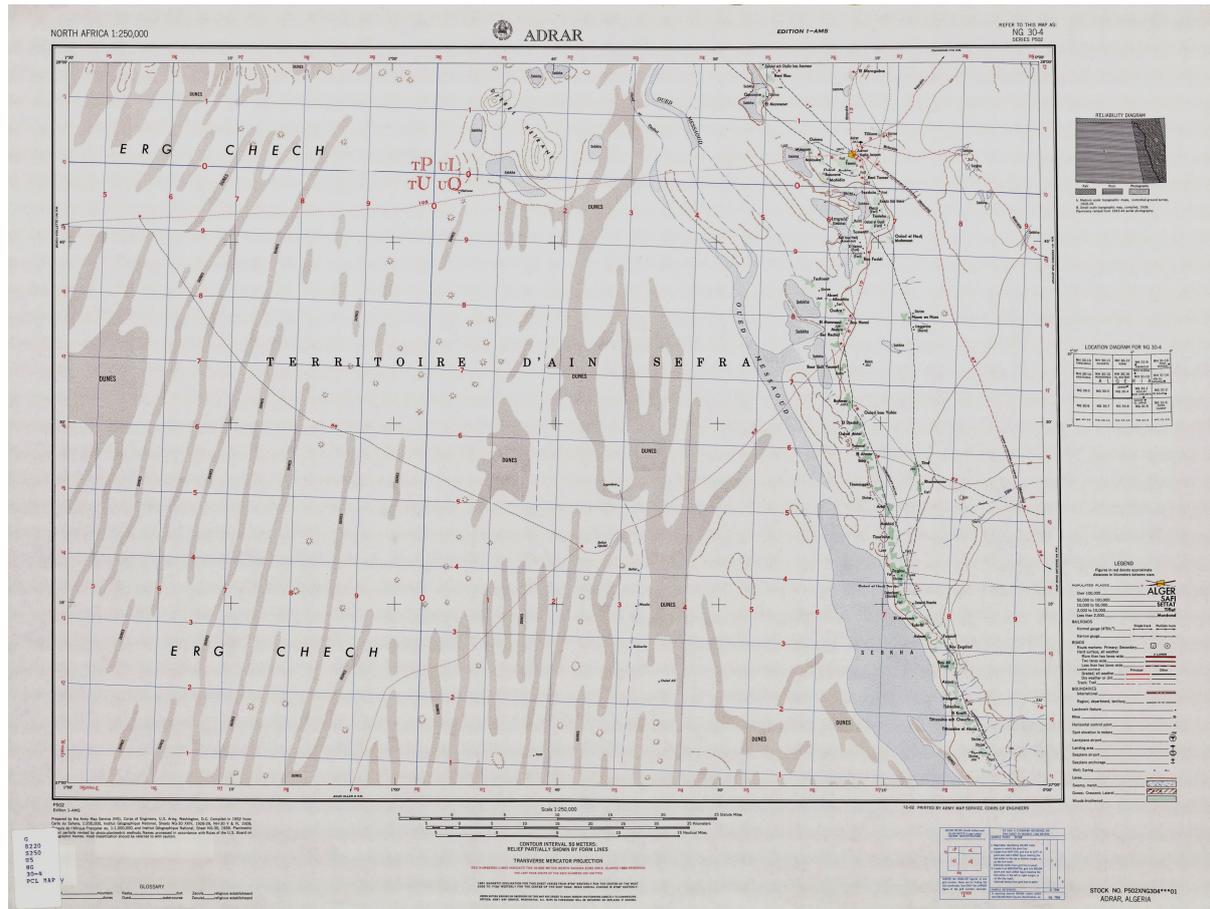


Figure III-2 : Carte topographique de La région d'Adrar [12]

III-5 Modèles d'ajustement [13]

De part la forme des nuages de points obtenus, les études de modélisation de la distribution des vitesses du vent ont été orientées vers des modèles associant puissance et exponentielle. Les modèles usuels étant :

- La distribution de Weibull ;
- La distribution hybride de Weibull;
- La distribution de Rayleigh.

III-5-1 Distribution de Weibull

La distribution de Weibull a été utilisée pour l'étude statistique des données mesurées au sol. La densité de probabilité et la fréquence cumulée de cette distribution [13] est donnée par:

$$f(V) = \left(\frac{k}{A}\right) \left(\frac{V}{A}\right)^{k-1} \exp\left(-\left(\frac{V}{A}\right)^k\right) \quad (3.1)$$

Avec :

- $f(V)$: la distribution en fréquences des vitesses mesurées.
- K : facteur de forme sans dimension ($k > 0$) qui caractérise la forme de la distribution de fréquence.
- A : facteur d'échelle (m/s) et $A > 0$.

III-5-2 Distribution hybride de Weibull

La distribution hybride de Weibull [13], est utilisée lorsque la fréquence des vents calmes enregistrée, sur un site donné, est supérieure ou égale à 15%. En effet, cette proportion ne peut pas être négligée et doit être prise en compte lors de la caractérisation d'un site du point de vue éolien. Cette distribution s'écrit :

$$f(V) = (1 - ff_0) \left(\frac{k}{A}\right) \left(\frac{V}{A}\right)^{k-1} \exp\left(-\left(\frac{V}{A}\right)^k\right) \quad \text{Pour } V > 0 \quad (3.2)$$

$$f(V) = ff_0 \quad \text{Pour } V = 0 \quad (3.3)$$

ff_0 : fréquence de vents calmes

III-5-3 Distribution de Rayleigh

La distribution de Rayleigh est un cas particulier de la distribution de Weibull pour le cas où le facteur de forme k est égal à 2.

Sa densité de probabilité est donnée par :

$$f(V) = 2 \frac{V}{A^2} \exp\left(-\left(\frac{V}{A}\right)^2\right) \quad (3.4)$$

Toutefois la distribution de Weibull classique (fonction de deux paramètres) est la plus indiquée. L'utilisation de ces deux paramètres permet l'évaluation d'un nombre important de propriétés de la distribution, d'où une meilleure caractérisation des sites.

La modélisation de Weibull est générale, en ce sens qu'elle englobe les distributions exponentielles [14]. La fonction de Weibull peut être décrite par deux ou trois paramètres. Les avantages de l'utilisation de la fonction de Weibull à deux paramètres ont été mis en évidence [15,16].

Afin de nous conformer aux standards de l'industrie éolienne, nous utilisons la fonction de Weibull à deux paramètres [3].

La distribution de Weibull représente bien le fait que, sur un site donné, les vents de faible intensité seront plus courants que ceux de forte intensité. Cette courbe est très intéressante pour les concepteurs de parc éolien comme pour les investisseurs car elle est significative du potentiel éolien du site [17].

III-6 Détermination des paramètres de Weibull

Les caractéristiques du vent vont déterminer la quantité de l'énergie qui pourra être effectivement extraite du gisement éolien. Pour connaître les propriétés d'un site, des mesures de la vitesse du vent ainsi que de sa direction, sur une grande période du temps, sont nécessaires (un à dix ans).

Cependant, les études antérieures dans le domaine de l'éolien ont montré que la caractéristique la plus importante est la distribution statistique de Weibull. Elle s'est révélée la plus adéquate pour l'emploi dans l'éolien [18]. Habituellement, le facteur de forme caractérise la symétrie de la distribution

III-7 Résultats et interprétation

Dans ce travail on a utilisé les données météorologiques horaires du vent de la station météorologique d'Adrar de la région d'Adrar (la vitesse, la direction) pour chaque jour, chaque mois pendant cinq ans (de 2006 à 2010). La méthode retenue est celle de la Distribution de Weibull avec estimation de la puissance effective d'une éolienne implantée dans cette région.

Pour la détermination les deux paramètres de Weibull K et A du site d'Adrar, on a utilisé deux méthodes :

- La méthode de l'écart type et vitesse moyenne ;
- Logiciel de simulation **WindPRO**.

A) méthode l'écart type et vitesse moyenne

Nous allons choisir la méthode de l'écart type pour la détermination des facteurs K et A , basée sur le calcul de l'écart type des fréquences de vent et de la vitesse moyen:

Le facteur d'échelle est très proche de la vitesse moyenne de la vitesse du vent [18].

$$k = \left(\frac{\sigma_v}{V_m} \right)^{-1.090} \quad (3.5)$$

$$A = \frac{2V_m}{\sqrt{\pi}} \quad (3.6)$$

V_m : vitesse moyenne (m/s)

σ : écart type (m/s)

B) Logiciel WindPRO

WindPro est le logiciel qui occupe une place prépondérante dans la gestion des projets. WindPRO est un logiciel utilisé pour l'énergie éolienne. Les utilisateurs sont en mesure de concevoir des parcs éoliens, y compris la disposition des éoliennes et leur conception électrique.

WindPro est développé par l'Agence International danoise de l'énergie consultante EMD. WindPRO est approuvé par les banques d'investissement pour créer des évaluations de tout projet éolien et sert à déterminer le financement des ces derniers.

WindPRO permet d'optimiser la disposition d'une ferme éolienne de production d'énergie éolienne dans un espace donné, les distances de recul, le niveau sonore et visuel des contraintes [19]. En ce qui nous concerne, il contient un gestionnaire de cartes (permettant d'importer des fonds de carte) et une bibliothèque d'éoliennes.



Figure III-3 : fenêtre principale de WindPro [19]

Cependant, ce logiciel comporte également des fonctionnalités supplémentaires par rapport au projet qu'il nous est demandé de réaliser : il permet grâce notamment aux données météo, de calculer l'énergie que le parc éolien pourra produire.

Dans notre travail, on a utilisé le premier pas de calcul du logiciel appelé objet Météo. L'objet météo est à la fois un "registrar de données" et un outil d'examen et d'analyse des vitesses et des directions du vent principalement destiné à l'étude de productibles. Un objet météo devra contenir les données relatives à un seul lieu (données issues d'un mât de mesure, ou données calculées à partir d'un modèle). Il est préférable de disposer de données pour plusieurs hauteurs afin de bénéficier des puissants outils d'analyse du gradient du vent. La comparaison des données issues de plusieurs lieux (plusieurs mâts) ou les opérations de substitution de données, se font avec un sous programme appelé Météo-Analyser, qui se charge de faire toutes les extractions et écritures dans les objets Météo correspondants.

Les résultats obtenus par les deux méthodes (voir Tableau III-1) représentent la distribution de fréquences par secteur.

Secteur	Paramètre de Weibull pour le site d'Adrar							
	Méthode d'écart type et vitesse moyenne				logiciel WindPRO			
	A (m/s)	k	f (%)	V (m/s)	A (m/s)	k	f (%)	V (m/s)
Nord	6,8	2,47	6	6,1	6,4	1,89	6	5,7
NNE	7,3	2,89	9	6,5	6,8	2,09	9	6,1
NE	7,5	3,13	9	6,7	7,2	2,40	9	6,4
ENE	8,5	2,99	14	7,6	8,1	2,30	14	7,2
Est	8,5	2,94	15	7,6	8,1	2,29	15	7,2
ESE	8,0	2,76	7	7,1	7,6	2,19	7	6,7
SE	8,0	2,84	3	7,1	7,5	2,11	3	6,7
SSE	8,2	2,62	4	7,2	7,7	1,99	4	6,8
sud	7,5	2,72	5	6,6	7,1	2,05	5	6,3
SSO	7,6	2,61	5	6,7	7,1	1,91	5	6,3
SO	7,7	2,57	3	6,9	7,1	1,81	4	6,3
OSO	7,9	2,33	5	7,0	7,4	1,80	5	6,5
Ouest	8,1	2,29	7	7,2	7,9	1,81	7	7,0
ONO	6,7	0,23	2	5,9	3,4	2,02	2	5,6
NO	6,3	2,51	2	5,6	6,0	1,98	2	5,3
NNO	6,3	2,86	3	5,6	6,1	2,27	3	5,2
Moyenne	7,8	2,68	100	6,9	7,4	2,06	100	6,6

Tableau III-1 : distribution de fréquences par secteur

Les paramètres de Weibull calculés sont presque identiques avec ceux déterminés par le logiciel WindPro. On remarque une petite différence entre eux, cette dernière est négligeable.

Le Tableau III-2 représente les fréquences d'histogramme en fonction de centre des classes des vitesses et les fréquences de Weibull.

Centre des classes	Fréquences d'histogramme	Fréquences Weibull (%)
0.5	0.02	1.70
1.5	0.08	5.20
2.5	3.50	8.29
3.5	8.92	10.58
4.5	11.33	11.85
5.5	19.35	12.07
6.5	16.58	11.39
7.5	12.42	10.05
8.5	8.57	8.34
9.5	5.64	6.54
10.5	3.80	4.86
11.5	3.14	3.42
12.5	2.52	2.29
13.5	1.80	1.46
14.5	1.03	0.88
15.5	0.59	0.51
16.5	0.23	0.28
17.5	0.09	0.15
18.5	0.13	0.07
19.5	0.09	0.03
20.5	0.06	0.02
21.5	0.03	0.01
22.5	0.06	0.00

Tableau III-2 : histogramme des fréquences

On remarque que la courbe de Weibull du site d'Adrar atteint un maximum pour la classe des vitesses, 6 et 7, puis décroît au fur et à mesure jusqu'à ce qu'elle s'annule. (Figure III-4).

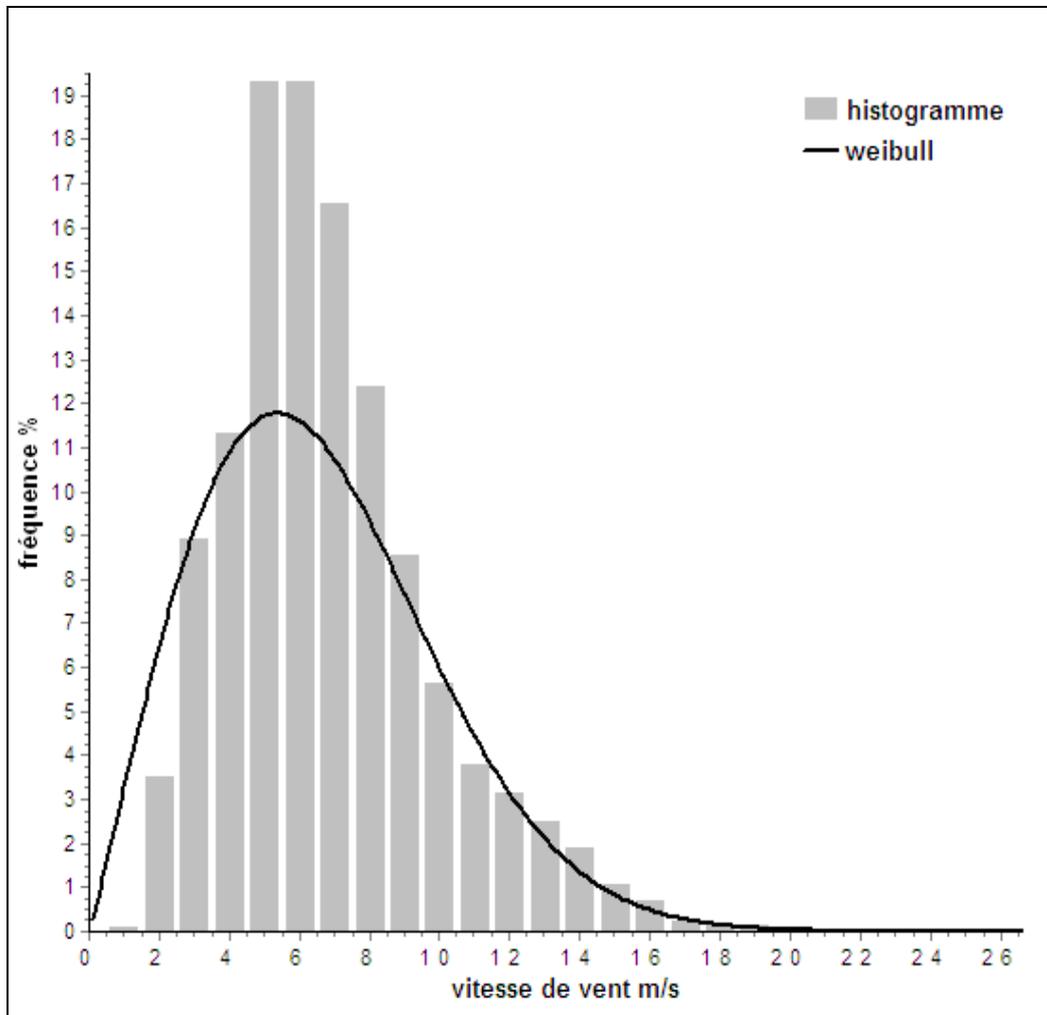


Figure III-4 : histogramme des fréquences et la courbe de Weibull pour Adrar

A partir des données mesurées, dans la station météorologique d'Adrar, pour chaque heure pendant cinq ans de 2006 à 2010 et les résultats de l'ajustement par la distribution de Weibull, les valeurs des paramètres de Weibull ont été calculés ($k = 2,06$ et $A=7,4\text{m/s}$) à 10 m du sol avec une vitesse moyenne du vent $V=6,6$ m/s.

III-7-1 La rose des vents

Une rose des vents est un peu comme un compas de navigation qui divise l'horizon en secteurs angulaires. Pour chaque secteur, sont présentés [20,21] :

- La fréquence du vent, c'est à dire le pourcentage du temps durant lequel le vent souffle dans ce dernier
- La vitesse moyenne du vent multiplié par sa fréquence.
- La puissance disponible dans le vent.

La rose des vents joue un rôle très important dans la localisation de sites appropriés à l'installation d'éoliennes. Si une grande partie de l'énergie contenue dans le vent provient d'une direction particulière, il faut chercher à avoir aussi peu d'obstacles et un terrain aussi peu perturbé que possible dans cette direction.

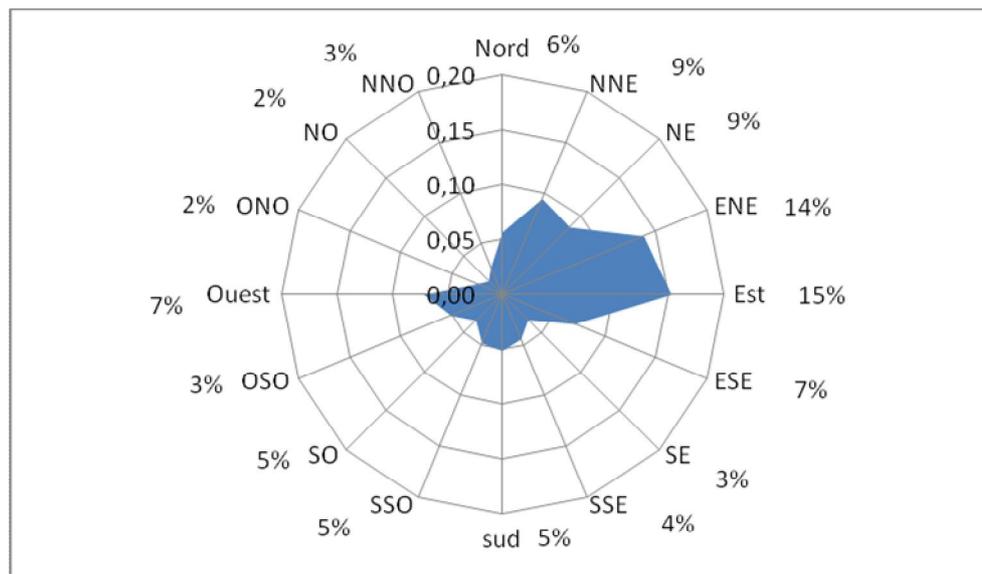


Figure III-5: rose de vent pour le site d'Adrar

Les secteurs prédominants sont (voir la Figure III-5) :

- les secteurs Nord Nord Est (NNE) et Nord Est avec un pourcentage de 9% pour chaque direction.
- le secteur Ouest et Est Sud Est (ESE) compte 7% pour chaque secteur et 6% pour le secteur Nord.
- le secteur Sud, Sud Ouest et Sud Sud Ouest (SSO) avec 5% des observations.

Le secteur dominant est :

- le secteur Est qui représente et secteur Est Nord Est (ENE) compte respectivement 15% et 14%.

Les faibles secteurs sont :

- le Sud Sud Est (SSE) repasant 4% de vent et Sud Est, Ouest Sud Ouest (OSO) et Nord Nord Ouest (NNO) avec un pourcentage de 3% pour chaque direction.
- enfin on a 2% pour les directions Nord Ouest et Ouest Nord Ouest (ONO).

III-7-2 Extrapolation des paramètres de Weibull

Justus C. G. et al. [22] ont proposé une expression pour l'exposant de la loi de puissance permettant l'extrapolation des paramètres de Weibull k_1 et A_1 en un point z_1 vers un niveau z_2 et donnée par :

$$k_2 = k_1 \left(\frac{1 - 0.0881 \log \frac{z_1}{10}}{1 - 0.0881 \log \frac{z_2}{10}} \right) \quad (3.7)$$

$$A_2 = A_1 \left(\frac{z_2}{z_1} \right)^n \quad (3.8)$$

Avec

$$n = \frac{0.370 - .0881 \log A_1}{1 - 0.0881 \ln \left(\frac{z_1}{10} \right)} \quad (3.9)$$

z_1, z_2 : Altitudes (m)

n : vecteur scalaire.

Z (m)	K	A (m/s)
10	2,06	7,4
80	2,52	15,4

Tableau III-3 : Extrapolation des paramètres de Weibull de 10 à 80 de hauteur

III-7-3 Puissance du Vent

Un aérogénérateur permet d'extraire l'énergie cinétique contenue dans le vent et de la convertir en énergie mécanique ou électrique. Les centrales éoliennes de production d'électricité sont en pleine expansion. La puissance théorique de l'énergie éolienne est définie par [23]:

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot V^3 \quad (3.10)$$

ρ : la masse volumique de l'air au niveau de la mer (1,25 kg/m³ aux conditions T=20°C et P=1atm),

A : la section du tuyau ou l'aire balayée par le rotor (m²)

v: vitesse du vent (m/s)

$$P_{effr} = c_e \underbrace{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot V^3}_{P_{vent}} \quad (3.11)$$

P_{eff} : puissance effective de l'énergie éolienne

C_e : Coefficient de rendement de la puissance

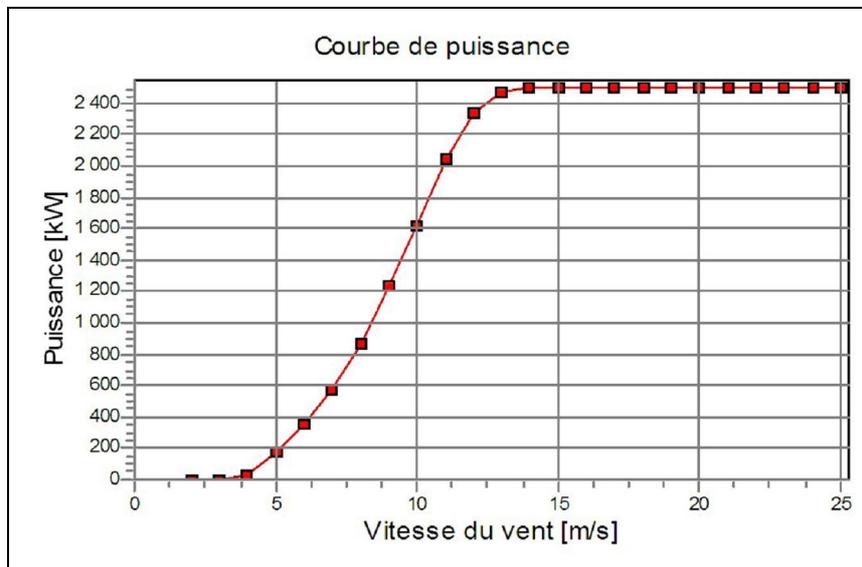


Figure III-6 : La courbe de puissance (C_e) pour NORDEX N90-2500 LS 2500 [24]

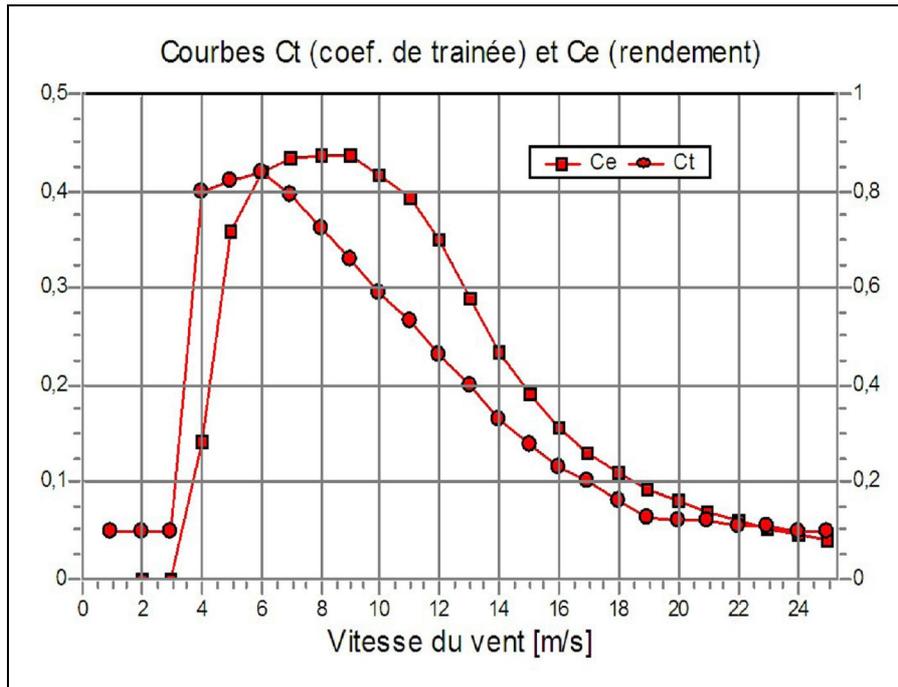


Figure III-7 : La courbe de coefficient de rendement (C_e) et coefficient traînée (C_t) pour NORDEX N90-2500 LS 2500 [24]

III-7-4 Estimation de l'énergie générée

Pour estimer l'énergie générée par une éolienne nous utilisons la méthode histogramme [20]. Où l'on effectue superposition de la courbe de réponse énergétique en KW, de l'histogramme de fréquences d'occurrence des classes de vent en %heures par mois et l'on multiplie terme à terme. Nous obtenons ainsi l'énergie générée en KWh.

$$E = \sum_{i=1}^n P_i(V_i) f_i(V_i) \times N \quad (3.12)$$

N : nombre d'heures par année

$P(V_i)$: La puissance effective de l'éolienne à une vitesse V_i .

$f(V_i)$: la probabilité à une vitesse V_i .

n : nombre d'intervalle.

On a estimé l'énergie générée et la puissance à différentes vitesses par une éolienne de type NORDEX N90 pendant une année (voir Tableau III-4)

vitesse (m/s)	puissance (kW)	énergie (MWh)
4	35	6,3
5	175	42,8
6	352	109,7
7	580	218,7
8	875	382,5
9	1261	617,1
10	1686	895,2
11	2087	1168,9
12	2399	1380,8
13	2500	1442,5
14	2500	1412,0
15	2500	1350,6
16	2500	1262,8
17	2500	1154,6
18	2500	1032,4
19	2500	902,9
20	2500	772,2
21	2500	645,9
22	2500	528,3
23	2500	422,4
24	2500	330,1
25	2500	252,2
l'énergie générée total		16330,8

Tableau III-4 : Estimation de l'énergie générée pendant une année

Conclusion

Adrar est l'une des régions des plus prometteuses dans la production d'énergie éolienne en Algérie en raison de plusieurs facteurs, notamment:

- Les vents soufflent d'une même direction à des vitesses supérieures à 10 m/s et sont très fréquents et constants, ce qui nous donne des puissances effectives élevées. Le potentiel énergétique éolien est disponible toute l'année, avec des maximums en hiver.
- La vitesse moyenne qui dépasse le 6 m/s
- Les paramètres de Weibull A et k sont respectivement 7.4m/s et 2.6
- Les vents dominant sont le secteur Est qui représente et secteur Est Nord Est (ENE) compte respectivement 15% et 14% avec une vitesse moyenne de 7.2 m/s pour chaque direction.
- L'estimation de l'énergie générée pendant une année par une éolienne (NORDEX N90) de puissance nominale de 2500 kW est environ 16.3 MW.
- Il s'y trouve des zones résidentielles, elles doivent éviter autant que possible évité pour assurer la santé des citoyens.

Bibliographie / web-graphie

- [1] S. Lazaar, mémoire de Magister « Contribution à l'étude d'une station éolienne pour la production de l'électricité. Application aux sites de Tlemcen, Djelfa et Ghardaïa » Université Abou Bekr Belkaïd de Tlemcen, Unité de Recherche Matériaux et Energies Renouvelable URMER Tlemcen.2009.
- [2] S. Krohn (2003). Manuel de référence sur l'énergie éolienne 2ème partie : Définitions de l'énergie et de la puissance.
[Enligne] <http://www.windpower.org/fr/stat/unitsene.htm#anchor691302>
- [3] I. Troen et E. L. Petersen, European Wind Atlas. Laursen Toender ed., Danemark, 1989, ISBN 87-550-1482-8, pp. 656.
- [4] <http://www.ademe.fr/bretagne/actionsphares/energiesrenouvelables>, « Les actions phares de la délégation en Bretagne de l'A.D.E.M.E ».
- [5] O. Langlois, « Raccordement d'éoliennes de petite puissance intégrées au bâtiment », Contrat avec EDF R&D, DEA Génie Electrique de l'INPT, Septembre 2002.
- [6] <http://www.windturbin.com>
- [7] H. Garrad & partners, Tractebel Energy Engineering, Risoe National Laboratory, Kvaerner Oil & Gas, Energi & Miljoe Undersoegelser, "Offshore Wind energy. Ready to power a sustainable Europe, Final Report. Concerted Action on Offshore Wind Energy in Europe," Delft University Wind Energy Research Institute (DUWIND), Delft, Pays-Bas, Réf: DUWIND 2001.006, 2001.
- [8] M. Ben medjahed, « Gisement éolien de la région côtière de Béni Saf Et son impact sur l'environnement », mémoire de Magister, Université Abou Bekr Belkaïd Tlemcen, Unité de Recherche Matériaux et Energies Renouvelable URMER Tlemcen. 2008.
- [9] N. Kasbadji merzouk, Thèse de doctorat (évaluation du gisement énergétique éolien contribution a la détermination du profil vertical de la vitesse du vent en Algérie) l'université Abou Bekr Belkaïd de Tlemcen (2006).
- [10] R. Hammouche, « Atlas Vent de l'Algérie », Publication Interne de l'ONM, Office National de Météorologie, Alger, 1990.
- [11] Annuaire statistique de l'année 2008, Direction de la Planification et de l'Aménagement du Territoire, WILAYA D'ADRAR, mai 2009.

- [12] RMALL carts. First printing 10.56. P502 Edition 2-ams, us, army (1953).
- [13] G. Solari, « Wind Speeds Statistics », Collège on atmospheric Boundary Layer and Air Pollution. ICTP, Trieste, Italie 1994.
- [14] E. G. Pavia, J. J. O'Brien, "Weibull statistics of wind speed over the ocean," Journal of Climate and Applied Meteorology, vol. 25, pp. 1324-1332, 1986.
- [15] C. G. Justus, W. R. Hargraves, A. Yalcin, "Nationwide assessment of potential output from wind-powered generators," Journal of Applied Meteorology, n°15, pp. 673-678, 1976.
- [16] C. G. Justus, W. R. Hargraves, A. Mikhail, D. Graber, "Methods for estimating wind speed frequency distribution," Journal of Applied Meteorology, n°17, pp. 350-353, 1978.
- [17] G. Faure et A. Bourdeau, « Rapport de projet, comparaison de modèles d'estimation éolienne sur le Liban en vue de leur intervalidation sur ce territoire » Institut National des Sciences Appliquées Département de génie Mathématique et Modélisation 2009.
- [18] M. Sathyajith, Wind Energy. Fundamentals, Resource Analysis and Economics Inde, 2006
- [19] [http:// www.emd.dk](http://www.emd.dk)
- [20] B. Yousef, G. Aymeric Collecte, organisation, traitement, analyse de mesures éoliques et modélisation énergétique. Thèse doctorat; Université Tecnica Federico Santa Maria, UTFSM, Valparaso, Chili ; 2005.
- [21] GENIVAR. analyse des vents et des surcotes de tempêtes. projet de réhabilitation du brise-lames à l'entrée du port de mer de la compagnie minière Québec cartier Société en commandite ; 2007
- [22] C.G. Justus and A. Mikhail, Rev, Geophysical Research Letters, vol. 3, N° 5(1976).
- [23] T. Philippe, Th. Claude. projet technologique (étude d'une éolienne) université de Québec. (2007). TCH-090-095
- [24] © NORDEX Energy GmbH Modifications techniques réservées. Tous droits réservés.