

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DES SCIENCES  
DEPARTEMENT DE PHYSIQUE

N° :...../2018.....



DOMAINE : Sciences de la matière

FILIERE : Physique

OPTION : Physique Energétique  
et Energies Renouvelables

Physique Energétique et Energies Renouvelables

Mémoire présenté pour l'obtention  
Du diplôme de Master Académique

Par: TOUAMA Nour el Houda

Intitulé

**Évaluation du gisement éolien en Algérie  
à l'aide du logiciel RETScreen**

**Soutenu le 24/06 /2018 devant le jury composé de:**

Dr. BENMANSOUR Nadia	Université Mohamed Boudiaf- M'sila	Présidente
Dr. SALMI Mohamed	Université Mohamed Boudiaf- M'sila	Rapporteur
Dr. BAAZIZ Hakim	Université Mohamed Boudiaf- M'sila	Examineur

**Année universitaire : 2017/2018**

## **Remerciements**

*Avant tous, Je remercie Allah, le tout-puissant de m'avoir donné le courage, la volonté, la patience et la santé durant toutes ces années d'étude et que grâce à lui ce travail a pu être réalisé.*

*Je tiens à remercier très vivement mon encadreur de mémoire Monsieur Dr. SALMI Mohamed, à qui j'exprime reconnaissance pour tous les conseils et les encouragements qu'il m'a prodigués pendant toute la durée de ce travail.*

*Je remercie vivement Dr. BENMANSOUR Nadia et Dr. BAAZIZ Hakim d'avoir accepté de représenter le jury de cette mémoire.*

*Je remercie, particulièrement mon fidèle collègue BOUZIANE Affaf pour son entreprise et son encouragement pour moi tout au long de la carrière académique.*

*Je n'oublie pas de présenter mes remerciements les plus sincères à tous les membres de ma famille, mes chers parents, mon frère et mes sœurs et mes chères amies pour leur soutien sans limite durant toutes mes années d'études.*

# *Dédicaces*

## *Je dédie ce mémoire*

*A mes chers parents pour leur amour inestimable, leur confiance, leur soutien, leurs sacrifices et toutes les valeurs qu'ils ont su m'inculquer.*

*A toute ma famille, mon frère, mes sœurs  
et leurs petits-enfants*

*Mes amies : Monia, Rima, Hadjer, Ahlem ...  
et tous ceux que j'aime.*

# SOMMAIRE

<b>Introduction</b>	<b>1</b>
<b>Chapitre 1 : Généralité sur le système éolien</b>	<b>2</b>
1.1. Historique	3
1.2. Définition de l'énergie éolienne	4
1.3 .Formation de vent	5
1.3.1. L'origine de vent	5
1.3.1.a. Force gravitationnelle	5
1.3.1.b. Forces de pression	5
1.3.1.c. La force de Coriolis	5
1.3.1.d. Les forces de frottement	6
1.4. Instruments pour mesurer le vent	6
1.4.1 La girouette	6
1.4.2 Manche à air (manche à vent)	6
1.4.3 L'anémomètre	7
1.5 Classifications des éoliennes selon la puissance	7
1.6 .Les avantages et les inconvénients d'éolienne	8
1.6.1 .Avantages de l'énergie éolienne	8
1.6.2 .Inconvénients de l'énergie éolienne	8
1.7 -Parc éolien	8
1.7.1. Critères de choix de sites éoliens	8
1.7.2. Autres critères	9
1.8 .Les différents types d'éoliennes	9
1.8.1 .Eolienne à axe vertical	9
1.8.1. a. Avantages	10
1.8.1. b. Inconvénient	10
1.8.2. Eoliennes à axe horizontal	11
1.8.2. a. Avantage	11
1.8.2. b. Inconvénient	11
1.9. Composantes d'un aérogénérateur	12
1.10 .Principe de fonctionnement d'éolienne	13
1.10.1. La transformation de l'énergie par les pales	13
1.10.2. L'accélération du mouvement de rotation grâce au multiplicateur	13
1.10.3. La production d'électricité par le générateur	13
1.10.4. Le traitement de l'électricité par le convertisseur et le transformateur	14

1.11. Domaines d'utilisation des éoliennes	14
1.11.1. Eolienne de pompage mécanique	14
1.11.2. Eolienne de pompage électrique	14
1.11.3. Fermes éoliennes	15
1.11.4. Aérogénérateur de grande puissance	16
<b>Chapitre 2 : Le gisement éolien en Algérie</b>	<b>17</b>
2.1. Potentiel énergétique éoliennes dans le monde	18
2.2. Travaux sur le gisement en Algérie	18
2.2.1 .Atlas éolienne de l'Algérie	19
2.3. Modélisation mathématique de la distribution des fréquences du vent	20
2.3.1. Modèle d'ajustement	20
2.3.1.1. Distribution de Weibull	20
2.3.1.2. Distribution hybride de Weibull	21
2.3.1.3. Distribution de Rayleigh	21
2.4. Évaluation du potentiel énergétique disponible	21
2.4.1. Puissance d'une éolienne	21
2.4.2. Le coefficient de puissance	22
2-4.3. Limite de Betz	22
2.5. Energie produite par une éolienne	24
2.6. Rendement de la machine	24
<b>Chapitre 3: Presentations et discussions des resultants</b>	<b>25</b>
3.1. Présentation de RETScreen	26
3.1.1. Principales caractéristiques	26
3.1.2. Interfaces	27
3.1.3. Données d'entrer	29
3.2. Application aux sites algériens	30
3.2.1 .Choix des cites	30
3.2.2 .Variation mensuelle de la vitesse moyenne à 10m du sol	30
3.2.3. Dimensionnement de l'aérogénérateur pour le site Biskra	36
<b>Conclusion</b>	<b>37</b>
<b>Bibliographie</b>	<b>39</b>

# Introduction

# Introduction

L'électricité est une énergie de base à la vie et sa consommation évolue de jour en jour. Cependant, au cours des deux derniers siècles, avec la découverte de nouvelles sources d'énergie telle que le charbon, les hydrocarbures et le nucléaire, celles-ci vont être exploitées au détriment de l'énergie du vent qui sera très vite négligée puis abandonnée.

Par ailleurs l'exploitation des ressources naturelles fossiles limitées et épuisables dans le temps poussent les pays développés et émergeant à se retenir vers des énergies, propres et renouvelables tels que le solaire, la géothermie, la biomasse et l'énergie éolienne [1].

L'énergie électrique d'origine éolienne est parfois considérée comme la plus prometteuse des énergies renouvelables à développer pour remplacer les hydrocarbures. Mais en raison de la nature fluctuante du vent, l'éolien ne peut être considéré que comme une source d'énergie de complément et non de remplacement des solutions classiques. Actuellement, plusieurs pays sont déjà résolument tournés vers l'énergie éolienne.

Plusieurs plans pour le développement des énergies renouvelables ont été adoptés par le gouvernement algérien, et le plus récent qui date de Mars 2015[3] consiste à produire

22 000 MW pour les besoins du marché national sur la période 2015-2030, dont plus de 4500 MW doivent être réalisés d'ici 2020. En outre, l'éolien représente le deuxième axe avec 5010MW qui doit être produite au total dont 1010MW à l'horizon 2020.

Vu sa position géographique, l'Algérie dispose d'un potentiel en termes de ressources énergétiques renouvelables considérable. Concernant l'éolien, et bien que la majorité des études dans le pays donne le sud comme le plus favorable pour l'utilisation de cette énergie, les régions du nord et des Hauts-Plateaux restent en grande partie méconnues. D'où le but de ce mémoire qui présente en général une étude bibliographique sur le gisement éolien et son potentiel électrique en Algérie, il est organisé de la façon suivante:

Le premier chapitre comprendra des généralités les éoliennes, l'origine de vent. Nous présenterons la machine, ses différents composants et ses caractéristiques ; les types d'éoliennes.

Dans le second chapitre nous présentons le gisement éolien en Algérie, les différents modèles utilisés pour la modélisation de la vitesse du vent, pour l'estimation de la production énergétique d'une éolienne.

Le dernier chapitre de notre travail comprend la présentation du logiciel *RETScreen* avec lequel la majeure partie de notre travail est effectuée, les différents résultats obtenus dans l'étude du gisement éolien d'Algérie. Le potentiel éolien en termes de vitesse...

Enfin on termine par une conclusion, où les principaux résultats obtenus sont mentionnés.

# **Chapitre I**

## **Généralité sur le système éolien**

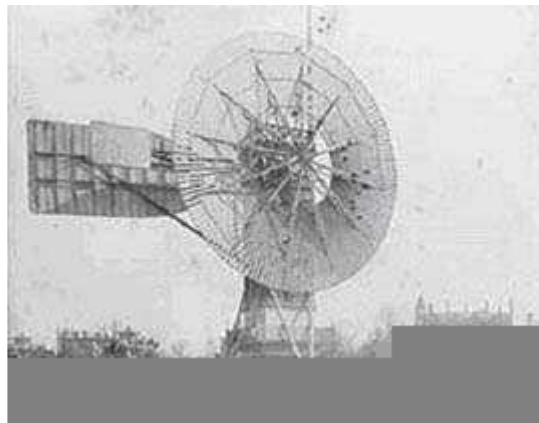
## 1.1. Historique

On estime que le principe de l'éolienne était déjà connu 200 avant Jésus Christ, chez les Perses qui utilisaient des moulins à vents afin de moudre le grain.

Ce n'est qu'au Moyen Age que les moulins à vent se sont considérablement développés notamment aux Pays Bas qui s'en servaient et même aujourd'hui pour pomper l'eau des rivières et des canaux.

La première éolienne destinée à produire de l'électricité (voir figure 1-1) fut construite par Charles F. Brush en 1887[4]. Composée de 144 pâles et d'un diamètre de 17 m, elle ne produisait que 12 kW.

Le météorologiste danois Poule La Cour qui voyait dans l'électricité une des techniques qui auraient le plus d'importance dans l'avenir, avait mené des recherches pour améliorer l'efficacité des moulins à vent et améliorer l'invention de Charles F.Brush. Il conclut ainsi qu'une éolienne à rotation rapide (voir Figure 1-2) ayant un nombre de pales limité produisait plus d'électricité. Ceci a été possible grâce à ses recherches dans une soufflerie aérodynamique.



**Figure (1-1) :** Première éolienne crée par Charles et Brush



**Figure (1-2):** Éolienne de Poule La Cour

Plus tard, Darrieus, un ingénieur français fit construire en 1983 la première éolienne à axe vertical. Cette éolienne dite de type Darrieus (voir figure 1-3) dont le fonctionnement repose sur l'effet de portance subit par un profil soumis à l'action d'un vent relatif (effet qui s'exerce sur les ailes d'un avion). Cette configuration présente un important avantage sur les éoliennes classiques, où l'éolienne peut fonctionner quelle que soit la direction du vent. Des recherches sont en cours actuellement visant à améliorer ce système qui reste fragile en cas de vents trop violents.



**Figure (1-3):** Eolienne de Darrieus

En Algérie, la première éolienne a été installée à Adrar en 1953[5-6]. A l'époque, cette éolienne faisait partie des trois premières grandes éoliennes dans le monde et la 1ère installée en Afrique avec une capacité de pompage de 50 litres par seconde (à trois hélices avec une forme aérodynamique de 15 m de diamètre). Cette éolienne se trouve hors d'usage depuis 1969.

Entre temps, plusieurs pompes éoliennes multi-pales, ont été mises en place dans les zones isolées pour l'intérêt des agriculteurs et des éleveurs, notamment à Djelfa, M'sila, Laghouat et Ghardaïa. La plupart de ces pompes éoliennes ont été fabriquées en Algérie par deux usines situées au niveau de Laghouat et El-Berouaguia [6].

## **1.2. Définition de l'énergie éolienne**

L'énergie éolienne (du mot grec Eole, le Dieu du vent) est l'énergie produite par le vent. On appelle énergie éolienne, la conversion de la force des vents en énergie mécanique, énergie électrique ou énergie cinétique (Fig.1.1).

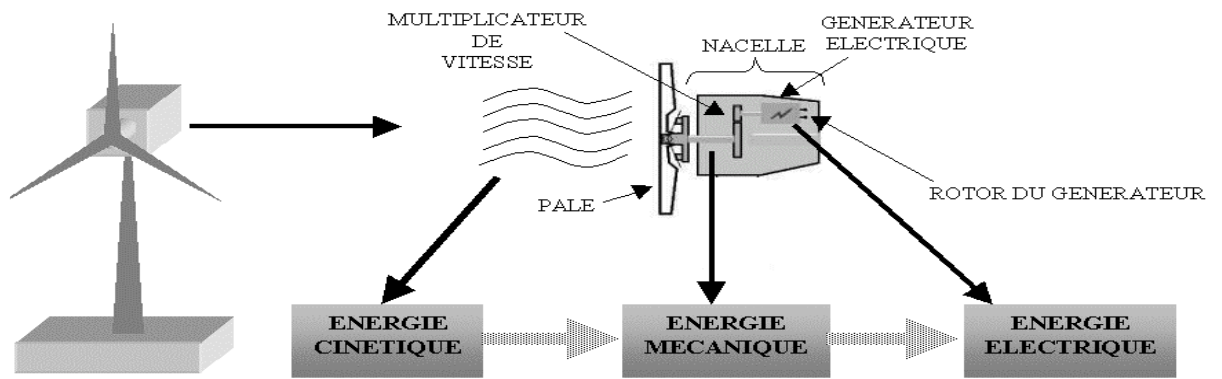


Figure (1-4) : Conversion de l'énergie cinétique du vent

### 1.3 .Formation de vent

#### 1.3.1. L'origine de vent

L'air qui constitue l'atmosphère est un mélange de gaz et de particules de forme solides ou liquides. Sa composition est relativement constante jusqu'à une altitude inférieure à 100km et est majoritairement composée d'azote et d'oxygène. La quasi-totalité de sa masse est située à une altitude de moins de 16 km, dans les basses couches atmosphériques [7]. Au sein de ces couches, le déplacement des masses d'air, appelé vent n'est autre que le résultat de la mise à l'équilibre d'un ensemble de forces qui sont :

**a- Force gravitationnelle :** Conséquence de l'attraction mutuelle des corps, cette force intervient à cause de la grande masse de la terre. Elle est dirigée vers le centre de la terre

**b- Forces de pression:** ces forces génèrent les déplacements des masses d'air constituant le vent. Elles proviennent des différences locales de pression dues aux différences de température en fonction de la latitude, et des influences continentales et océaniques. Elles sont perpendiculaires aux surfaces isobares et dirigées des hautes vers les basses pressions.

**c- La force de Coriolis :** cette force est liée à la rotation de la Terre sur son axe. Elle est perpendiculaire à la vitesse du vent et orientée vers l'est dans l'hémisphère Nord. Elle n'est significative que pour les déplacements atmosphériques de haute altitude en raison de la faiblesse relative des autres forces en présence [8].



Figure (1-5) : Effet de la force de Coriolis sur la direction des vents

**d-Les forces de frottement** : ces forces traduisent la friction turbulente de l'air sur le sol. Généralement appliqués aux mouvements d'air présents dans l'atmosphère, les vents sont produits par les différences de pressions atmosphériques engendrées principalement par les gradients de température. Les variations de la distribution des pressions et des températures sont dues essentiellement à une distribution inégale de l'énergie solaire sur la surface de la terre, et aux différences des propriétés thermiques des surfaces des continents et des océans.

## 1.4 Instruments pour mesurer le vent

### 1.4.1. La girouette

La girouette est un instrument qui nous indique l'origine du vent. C'est un pointeur (une flèche, un coq etc...) qui est monté sur un axe rotatif. Le pointeur peut tourner librement autour de son axe et s'aligne donc parallèlement au vent. C'est la partie la plus mince du pointeur (la pointe de la flèche, le bec du coq etc.) qui nous indique la provenance du vent. Il peut y avoir une croix immobile indiquant les points cardinaux fixée sous le pointeur d'une girouette traditionnelle.



**Figure (1-6) :** Girouette

Puisque l'usage des girouettes s'est répandu en Europe durant le moyen-âge et qu'il en existait même 4000 ans auparavant, on ne peut pas dire qui en est l'inventeur précisément.

**Unités de mesure** : Les points cardinaux ou les degrés d'orientation par rapport au nord géographique.

### 1.4.2 .Manche à air (manche à vent)

La manche à air est un instrument qui nous indique l'origine du vent et nous donne aussi une approximation de la vitesse du vent. C'est un tube de toile souple fermé à l'une des extrémités que l'on appelle manchon et fixé à un mât. Le vent s'engouffre par l'ouverture et soulève le manchon. Il y a toujours au moins trois bandes rouges et deux bandes blanches qui s'alternent. Ces bandes nous permettent une approximation de la vitesse du vent. Chaque bande correspond à une vitesse de 5 noeuds (environ 9 km/h). Alors quand il y a cinq bandes du tube de toile complètement à l'horizontal on peut dire qu'il y a un vent d'au moins 25 noeuds (environ 45 km/h). Le tube de toile peut aussi pivoter sur son axe alors il nous permet de connaître la direction du vent. Le manchon pointe vers où le vent se dirige [9].



**Figure ( 1-7) :** Manche à air

### 1.4.3 L'anémomètre

L'anémomètre est un instrument qui nous indique la vitesse du vent. L'anémomètre est composé de coupelles en forme de demi-sphères vides orientées dans le même sens qui tournent librement autour d'un axe. Dans les anémomètres modernes, un système électronique permet alors de calculer le nombre de tours effectués par les coupelles dans un certain temps. La vitesse du vent apparaît alors sur un petit écran. On peut très bien connaître la vitesse du vent seulement de façon mécanique aussi.

L'anémomètre a été inventé par l'architecte italien Léon Battista Alberti en 1450.

**Unités de mesure :** En kilomètres par heure (km/h) ou en mètres par seconde (m/s).



**Figure (1-8) :** Anémomètre

### 1.5. Classifications des éoliennes selon la puissance

Classification des éoliennes	Diamètre(m)	Puissance (w)
Petite éolienne	Entre 0.5m et 20m	Inferieur à 100Kw
Moyenne éolienne	20m et 50 m	100Kw à 1Mw
Grande éolienne	50m à 100m	Plus de 1Mw

**Tableau 1-1 :** Classification des éoliennes [19].

## **1.6 .Les avantages et les inconvénients d'éolienne**

### **1.6.1 .Avantages de l'énergie éolienne**

Pollution zéro, elle peut être complémentaire aux filières traditionnelles, elle ne consomme pas de combustibles, abondante, elle permet que le terrain occupé par les parcs éoliens soit utilisé à d'autres fins, par exemple agricoles, elle compte parmi les systèmes de production d'énergie électrique les plus sûrs, bonne vie utile des appareils.

### **1.6.2 .Inconvénients de l'énergie éolienne**

Instable, elle est soumise à des variations du vent et à des périodes de calme, difficulté de stockage de l'énergie, les équipements sont chers et produisent du bruit, impact visuel [20].

## **1.7. Parc éolien**

Un parc éolien, ou une ferme éolienne, est un site regroupant plusieurs éoliennes produisant de l'électricité. Il se trouve en général dans un lieu où le vent est fort et/ou régulier. Un parc éolien peut être on shore (à l'intérieur des terres) ou offshore (au large des côtes).

### **1.7.1. Critères de choix de sites éoliens**

Les critères de choix de l'implantation éolienne dépendent de la taille, puissance et du nombre d'unités. Ils incluent la présence d'un vent régulier et diverses conditions telles que : présence d'un réseau électrique pour recueillir le courant, absence de zones d'exclusion (dont périmètre de monuments historiques, sites classés..), terrain approprié, etc.

Un bon site éolien doit présenter les qualités suivantes [21]:

- Site venté
- Peu de turbulences
- Une bonne facilité d'accès
- Proche du réseau électrique

Il faut de préférence avoir une vue aussi dégagée que possible dans la direction des vents dominants ainsi certains sites proches de grands obstacles (arbres, bâtiments, escarpements complexes, etc.) sont à proscrire car le vent y est trop turbulent. Il faut qu'il y ait aussi une rugosité aussi faible que possible dans cette direction. Il est nécessaire de procéder à une étude des obstacles environnants, plus particulièrement dans la direction des vents dominants. Les écrans peuvent être constitués par des obstacles naturels ou artificiels (arbres, broussailles, falaises, chaos rocheux, maison...) On se placera à une distance qui dépendra de la forme de l'obstacle :

- Tour ou pylône cylindrique: 10 fois le diamètre
- Mur ou maison: 10 fois la hauteur
- Arbres: 6 fois la hauteur

Dans le cas particulier de deux éoliennes dans le sillage l'une de l'autre :

- Minimum: 6 fois le diamètre de l'hélice
- Maximum: 12 fois le diamètre de l'hélice

Un autre critère tout aussi important que les obstacles sera celui des accidents de terrain au voisinage de l'aéromoteur. Les pentes supérieures à 45° ou les falaises sont à l'origine de perturbations susceptibles de provoquer la détérioration de la machine en provoquant des variations de vitesse et de direction du vent dans un espace restreint.

Les variations de vitesse provoquent des contraintes dissymétriques sur l'aéromoteur et les variations de direction entraînent des désorientations avec des accélérations variables qui imposent des contraintes sur toutes les parties de la machine (couples gyroscopiques).

Certains sites bien spécifiques augmentent la vitesse du vent et sont donc plus propices à une installation éolienne :

- L'effet tunnel ou Venturi
- Les collines, surtout si leur pente est douce et progressive permettant l'apparition d'effet de colline.
  - La mer et les lacs sont aussi des emplacements de choix : il n'y a aucun obstacle au vent, et donc, même à basse altitude, les vents ont une vitesse plus importante et sont moins turbulents. La proximité d'une côte escarpée créera également des turbulences, usant prématurément certains composants mécaniques de l'éolienne.
  - Les zones côtières, les hauts plateaux, les montagnes et Certaines plaines dégagées

### **1.7.2 .Autres critères :**

D'autres critères sont pris en compte pour le choix du site [22].

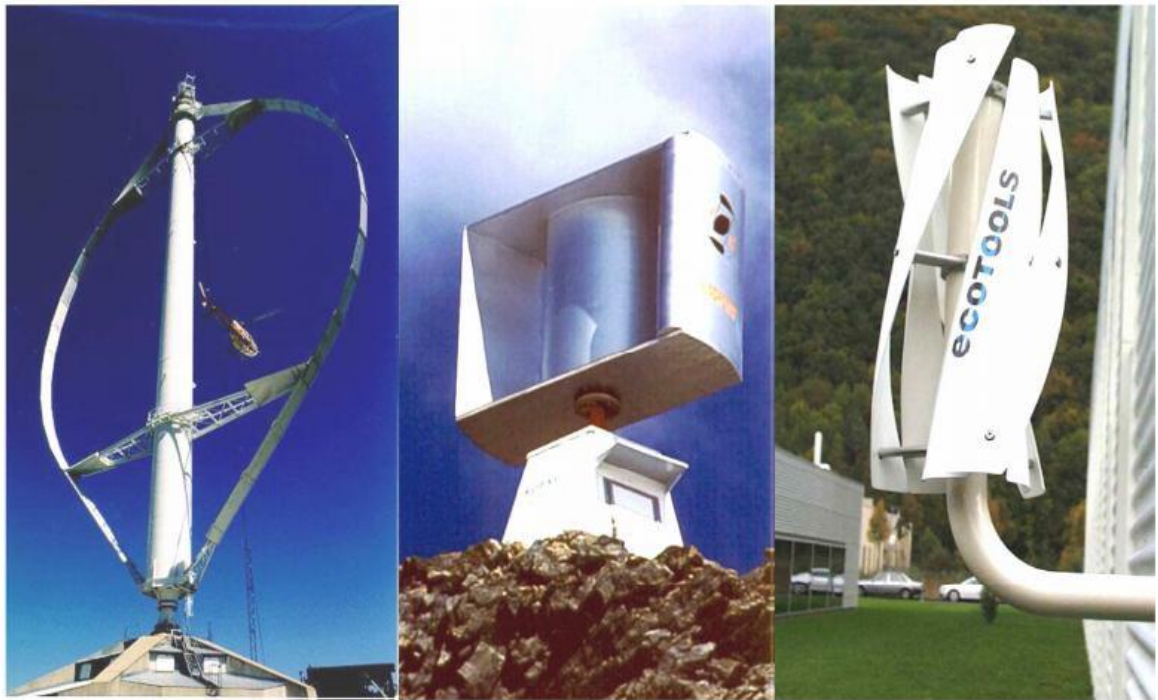
- La nature du sol
- L'accessibilité du site
- La connexion au réseau électrique
- Les éoliennes
- Impact sonore

## **1.8 .Les différents types d'éoliennes**

Les éoliennes se divisent en deux grandes familles : celles à axe vertical et celles à axe horizontal :

### **1.8.1 .Eolienne à axe vertical :**

Ils ont été les premières structures développées pour produire de l'électricité. De nombreuses variantes technologiques ont été testées dont seulement deux structures sont parvenues au stade de l'industrialisation, le rotor de Savonius et le rotor de Darrieux [23].



*Darrieus*

*Darrieus de type H*

*Savonius*

**Figure (1-9) :** Technologie éolienne à axe vertical.

A nos jours, ce type d'éolienne est plutôt marginal et son utilisation est beaucoup moins répandue. Elles présentent des avantages et des inconvénients que nous pouvons citer comme suit [24-25].

**1.8.1. a. Avantages :**

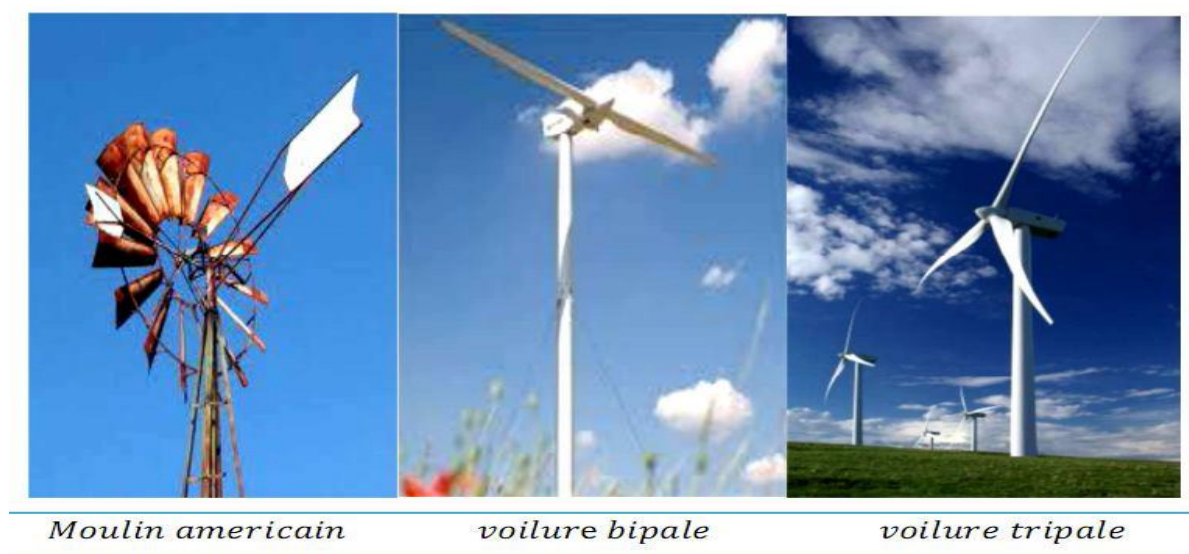
- La conception verticale offre l'avantage de mettre le multiplicateur, la génératrice et les appareils de commande directement au sol.
- Son axe vertical possède une symétrie de révolution ce qui permet de fonctionner quel que soit la direction du vent sans avoir à orienter le rotor.
- Sa conception est simple, robuste et nécessite peu d'entretien.

**1.8.1. b. Inconvénient :**

- Elles sont moins performantes que celles à axe horizontal.
- La conception verticale de ce type d'éolienne impose qu'elle fonctionne avec un vent proche du sol, donc moins fort car freiné par le relief.
- Leur implantation au sol exige l'utilisation des tirants qui doivent passer au-dessus des pales, donc occupe une surface plus importante que l'éolienne à tour.

### 1.8.2. Eoliennes à axe horizontal

Ce sont les éoliennes actuellement les plus répandues sans doute à cause de leurs avantages remarquables, elles comportent généralement des hélices à deux ou trois pales face ou sous le vent [26].



**Figure (1-10) :** Technologie éolienne à axe horizontal

#### 1.8.2. a. Avantage :

- Une très faible empreinte au sol par rapport aux éoliennes à axe vertical.
- Cette structure capte le vent en hauteur, donc plus fort et plus régulier qu'au voisinage du sol.
- Le générateur et les appareils de commande sont dans la nacelle au sommet de la tour. Ainsi, il n'est pas nécessaire de rajouter un local pour l'appareillage.

#### 1.8.2. b. Inconvénient :

- Coût de construction très élevé.
- L'appareillage se trouve au sommet de la tour ce qui gêne l'intervention en cas d'incident.
- Malgré ses inconvénients, cette structure est la plus utilisée de nos jours. Cependant, les structures à axe vertical sont encore utilisées pour la production d'électricité dans les zones isolées.
- Elles sont de faible puissance destinée à des utilisations permanentes comme la charge des batteries par exemple.

Dans le reste de notre étude nous nous intéressons à la structure la plus répandue et la plus efficace à savoir celle à axe horizontal et à trois pales à pas variable (variable pitch) [27].

## 1.9. Composantes d'un aérogénérateur

L'aérogénérateur utilise l'énergie cinétique du vent pour entraîner l'arbre de son rotor : cette énergie cinétique est convertie en énergie mécanique qui est elle-même transformée en énergie électrique par une génératrice électromagnétique solidaire au rotor. L'électricité peut être envoyée dans le réseau de distribution, stockée dans des accumulateurs ou utilisée par des charges isolées [28].

**1. Les pales** : sont les capteurs de l'énergie cinétique qui transmettent l'énergie au rotor

**2. Le moyeu** : il est pourvu d'un système qui permet d'orienter les pales pour réguler la vitesse de rotation.

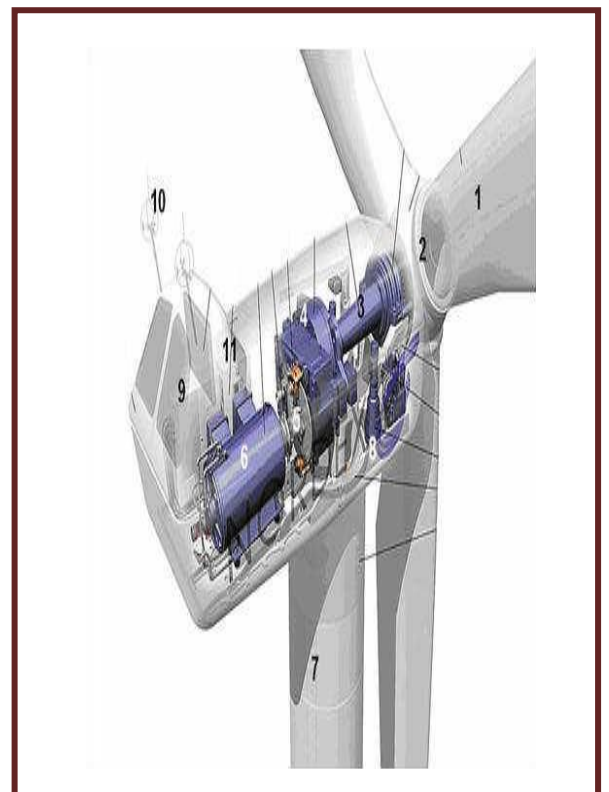
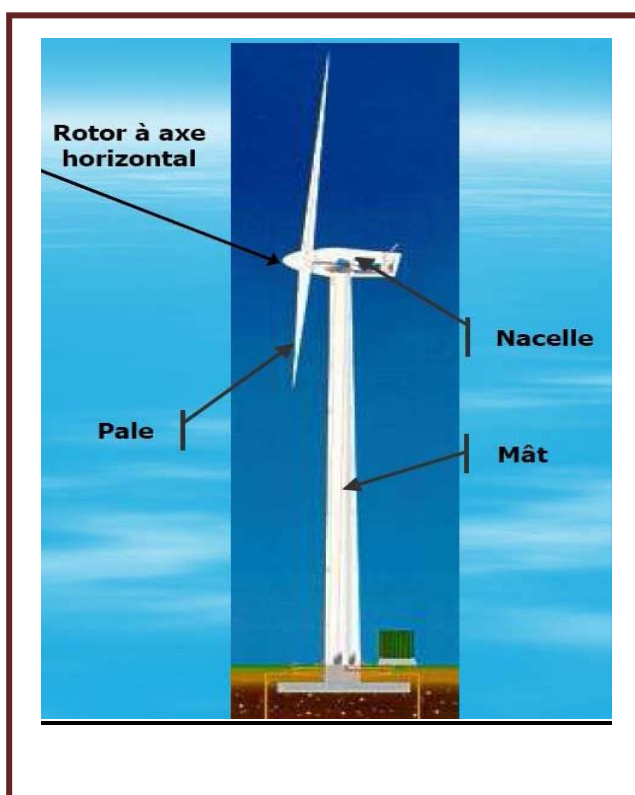


Figure (1-11) : Composition d'un aérogénérateur horizontal.

**3. L'arbre primaire (ou arbre lent)** : relie les pales au multiplicateur.

**4. Le multiplicateur** : il permet de réduire le couple et d'augmenter la vitesse. C'est l'intermédiaire entre l'arbre primaire et l'arbre secondaire.

**5. L'arbre secondaire** : il amène l'énergie mécanique à la génératrice. Il est équipé d'un frein à disque mécanique qui limite la vitesse de l'arbre en cas de vents violents.

**6. Le générateur électrique** : il assure la production électrique. Sa puissance peut atteindre jusqu'à 5 MW. Il peut-être une dynamo (produit du courant continu) ou un alternateur (produit du courant alternatif). L'alternateur est le plus utilisé pour des raisons de coût et de rendement.

**7. Le mât** : c'est un tube en acier, pilier de toute l'infrastructure. Sa hauteur est importante : plus elle augmente, plus la vitesse du vent augmente mais en même temps le coût de la structure augmente. En général, le mat a une taille légèrement supérieure au diamètre des pales.

**8. Le système d'orientation de la nacelle** : c'est une couronne dentée équipée d'un moteur qui permet d'orienter l'éolienne et de la verrouiller dans l'axe du vent grâce à un frein.

**9. Le système de refroidissement** : il est à air, à eau ou à huile et destiné au multiplicateur et à la génératrice.

**10. Les outils de mesure du vent** : girouette pour la direction et anémomètres pour la vitesse. Les données sont transmises à l'informatique de commande.

**11. Le système de contrôle électronique** : il gère le fonctionnement général de l'éolienne et de son mécanisme d'orientation.

**12.** Au pied du mât se trouve un **transformateur**.

## **1.10 .Principe de fonctionnement d'éolienne**

Une éolienne transforme l'énergie du vent en énergie électrique. Cette transformation se fait en plusieurs étapes [29]:

### **1.10.1. La transformation de l'énergie par les pales :**

Les pales fonctionnent sur le principe d'une aile d'avion : la différence de pression entre les deux faces de la pale crée une force aérodynamique, mettant en mouvement le rotor par la transformation de l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique

### **1.10.2. L'accélération du mouvement de rotation grâce au multiplicateur :**

Les pales tournent à une vitesse relativement lente, de l'ordre de 5 à 15 tours par minute, d'autant plus lente que l'éolienne est grande. La plupart des générateurs ont besoin de tourner à très grande vitesse (de 1000 à 2000 tours par minute) pour produire de l'électricité. C'est pourquoi le mouvement lent du rotor est accéléré par un multiplicateur. Certains types d'éoliennes n'en sont pas équipés, leur générateur est alors beaucoup plus gros et beaucoup plus lourd.

### **1.10.3. La production d'électricité par le générateur**

L'énergie mécanique transmise par le multiplicateur est transformée en énergie électrique par le générateur. Le rotor du générateur tourne à grande vitesse et produit de l'électricité à une tension d'environ 690 volts.

#### **1.10.4. Le traitement de l'électricité par le convertisseur et le transformateur**

Cette électricité ne peut pas être utilisée directement ; elle est traitée grâce à un convertisseur, puis sa tension est augmentée à 20000 Volts par un transformateur. L'électricité est alors acheminée à travers un câble enterré jusqu'à un poste de transformation, pour être injectée sur le réseau électrique, puis distribuée aux consommateurs les plus proches

### **1.11. Domaines d'utilisation des éoliennes**

Les éoliennes sont utilisées principalement au pompage d'eau, à la production d'électricité et à l'alimentation des réseaux électriques [30] :

#### **1.11.1. Eolienne de pompage mécanique**

L'éolienne de pompage mécanique traditionnelle utilise un système bielle manivelle monté sur l'arbre du rotor. Elle possède normalement plusieurs pales montées sur un rotor qui tourne relativement lent (Fig.4.3).

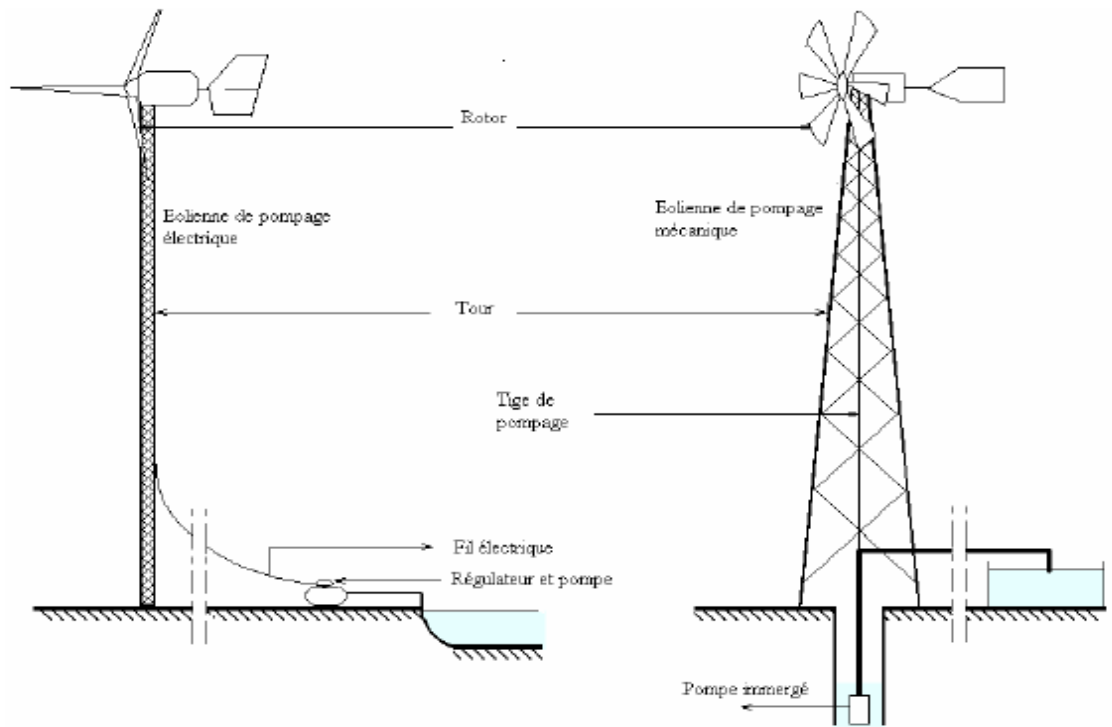
Le système bielle manivelle transforme le mouvement rotatif de la bielle en un mouvement rectiligne alternatif qui commande la pompe à piston installée dans un puits ou un étang, à la base de l'éolienne.

Le mouvement alternatif du piston de la pompe assure le pompage de l'eau (la montée). Les éoliennes de pompage mécanique ont leurs avantages et leurs inconvénients. Elles sont généralement fiables, d'un entretien facile et d'un coût abordable. La contrainte principale réside dans le fait qu'elles doivent être installées directement au-dessus du puits ou de l'étang, ceci même l'eau doit être utilisée à une certaine distance de ce puits.

#### **1.11.2. Eolienne de pompage électrique**

Le système éolien électrique commande une pompe électrique, après conversion de l'énergie mécanique en énergie électrique, qui aspire l'eau de la source (un puits ou un étang) et la refoule à l'endroit de son utilisation (un abreuvoir à bétail, un étang, ou un système d'irrigation), (Fig.1.13). Contrairement au système mécanique, le système éolien électrique n'est pas obligé de se trouver près de la source d'approvisionnement en eau. La quantité d'énergie consommée par la pompe électrique peut être adaptée à la puissance de sortie de l'éolienne, de manière à ce que l'énergie éolienne soit utilisée efficacement.

Les éoliennes de pompage électrique ne comprennent pas des batteries, l'eau est stockée dans un réservoir qui sert de réserve d'énergie.



**Figure (1-12) :** Schématisation des systèmes éoliens mécaniques et électriques pour le pompage de l'eau.

### 1.11.3. Fermes éoliennes

Elles sont constituées par un grand nombre d'éoliennes destinées à la production d'électricité. Ces éoliennes sont bien plus grandes, leurs pales vont de 20 à 30 m, leurs tours atteignent 50 m de hauteur et produisent autour de 500 kW. Dans les fermes éoliennes, des centaines de machines fonctionnent ensemble et suffisent pour alimenter une ville en électricité (Fig.1.14).



**Figure (1-13) :** Ferme éolienne

#### **1.11.4. Aérogénérateur de grande puissance**

La tendance actuelle porte sur l'installation d'aérogénérateurs de grande puissance afin d'éliminer l'occupation de surface générée par les fermes éoliennes. Une éolienne de forte puissance (1MW) à un hanteur de 60 m et le diamètre du rotor est de 55 m. En pleine mer, la puissance nominale d'un aérogénérateur dépasse les 4 MW. Aujourd'hui les avancées techniques en matière de matériaux ont permis l'installation en Allemagne d'un aérogénérateur d'une puissance égale à 4 MW dont la production d'électricité répond à la demande de 400 foyers. Les différentes avancées se font grâce à des études faites sur les matériaux utilisés pour la conception des aérogénérateurs.

## **Chapitre 2**

# **Le gisement éolien en Algérie**

## **2.1. Potentiel énergétique éoliennes dans le monde**

L'Allemagne est aujourd'hui le premier producteur mondial avec une production de 14.6 GW en 2003, l'Espagne est au deuxième rang avec 6.4 GW, les USA au troisième rang avec 6.3 GW et le Danemark au quatrième rang avec

3.1 GW. La France est au dixième rang européen avec 0.253 GW. L'Union Européenne avec 4,15 GW. Alors qu'en Algérie, nous sommes encore dans un stade préliminaire avec une seule ferme éolienne pilote d'une capacité nominale de 10MW, sachant que la vitesse moyenne annuelle est comprise entre 2 et 6m/s [2].

## **2.2. Travaux sur le gisement en Algérie**

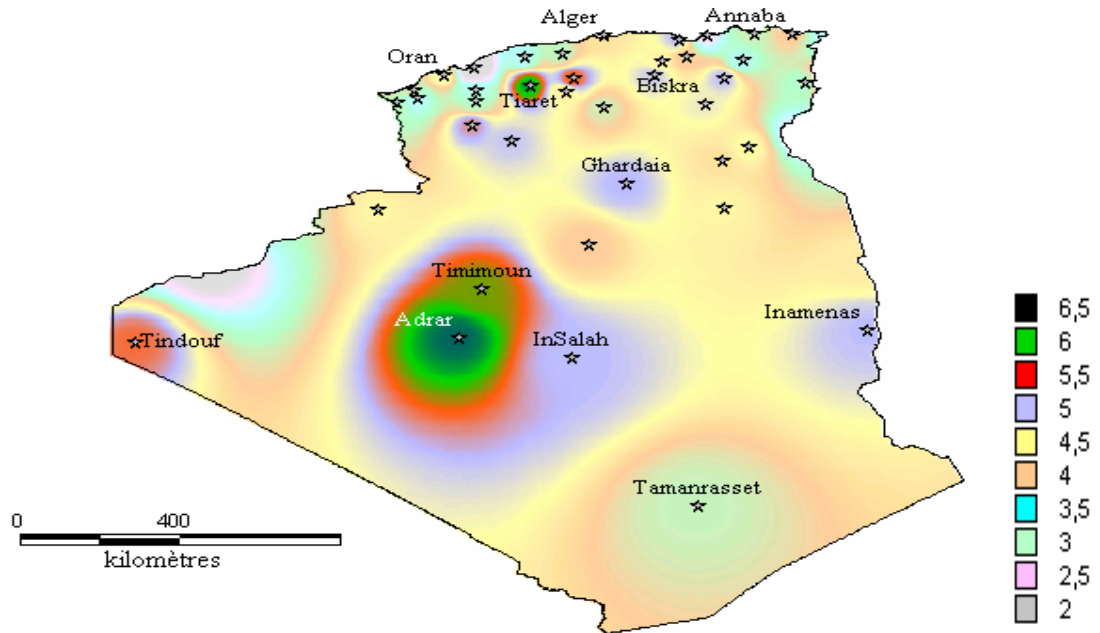
Au milieu des années 80, les seules mesures des paramètres du vent disponibles en l'Algérie étaient rapportées dans les bulletins météorologiques de l'ONM qui donnent les vitesses et les fréquences moyennes des vents pour les différentes stations météorologiques. En 1990, Hammouche a édité " l'atlas de vent de l'Algérie " donnant les résultats de l'étude statistique de 37 stations en utilisant le logiciel Wasp utilisé pour la cartographie éolienne de l'Europe [31].

Les résultats sont donnés sous forme de tableaux regroupant les paramètres annuels de Weibull à 10, 50 et 100 m, les fréquences directionnelles des vitesses pour un pas donné et les vitesses arithmétiques moyennes mensuelles et annuelles.

Les résultats de Hammouche ont été utilisés pour établir la première carte du vent de l'Algérie par Kasbadji-Merzouk, [32]. Cette carte a été améliorée par le même auteur en 1999, en portant le nombre de stations à 46 et en utilisant la distribution hybride de Weibull [34]. Enfin un Atlas réalisé à l'aide d'un système d'information géographique a été mis en place en 2006 par le même auteur [36].

La carte proposé est donnés par figure 2.1. En parallèle, le modèle Aiolos a été utilisé pour l'établissement des cartes relatives aux microclimats des régions accidentées en Algérie. Les résultats obtenus ont permis de détecter des zones ventées en Algérie, [34,35]. La carte des vents de l'Algérie, estimée à 10 m du sol est présentée en figure (2.2.1). Les vitesses moyennes annuelles obtenues varient de 2 à 6.5 m/s.

A l'exception de la région côtière (moins Béjaia et Oran), du Tassili et de Beni Abbés, la vitesse de vent moyenne est supérieure à 3 m/s. Le maximum est obtenu pour la région d'Adrar avec une valeur moyenne de 6.5 m/s [36].



**Figure (2-1):** Atlas de la vitesse moyenne du vent de l'Algérie estimée à 10 m du sol.

### 2.2.2 .Atlas éolienne de l'Algérie

Le centre de développement des énergies renouvelables (CDER) a publié un nouvel atlas éolien de l'Algérie qui donne des informations sur le potentiel éolien à travers plusieurs régions du pays, apprend-on auprès de cet organisme [37].

Constituée de quatre (4) chercheurs, l'équipe a ainsi réalisé des cartes du vent sur la base de données de vitesse de vent horaires et tri horaires enregistrées sur dix (10) années consécutives de 2004 à 2014, dans 74 stations météorologiques de l'Office national de la météorologie (ONM) ainsi que dans 21 stations supplémentaires des pays limitrophes.

Grâce à une répartition géographique plus ou moins uniforme entre le Sud et le Nord, le nouvel Atlas Vent à 10 mètres du sol "reflète des changements dans l'estimation de la ressource éolienne comparée aux atlas précédents, particulièrement au Sahara", relève le CDER.

Ainsi, le site d'In Salah affiche une vitesse moyenne du vent de 6,4 mètres/seconde (m/s) à côté d'Adrar qui enregistre 6,3 m/s.

La wilaya d'illizi, dotée d'une dizaine de stations, montre des vitesses dépassant les 5 m/s tandis que le site de Hassi R'Mel affiche des vitesses moyennes assez importantes atteignant 6,5 m/s.

Quant au nord du pays, plusieurs microclimats sont également détectés d'ouest en est, observe-t-il.

Dans le cas des Hauts-Plateaux, il est constaté que dans l'extrême ouest, la région de Mecheria affiche une vitesse moyenne particulièrement intéressante de 5,6 m/s. Une vitesse de 5,6 m/s est enregistrée à Tiaret et de 5,1 m/s à Djelfa, tandis qu'à M'sila, la vitesse moyenne est de 5,3 m/s.

Mais selon le CDER, bien que cet atlas préliminaire donne des informations utiles pour la quantification du potentiel existant, il reste insuffisant pour le choix des sites éligibles à l'implantation de fermes éoliennes.

La prospection d'emplacements optimaux pour les parcs éoliens pouvant assurer un retour d'investissement et fournir une énergie éolienne compétitive "est accompagnée de limites de faisabilité liées notamment à la topographie du lieu et à la disponibilité du réseau électrique", souligne le même organisme.

De ce fait, soutient-il, une méthode d'optimisation (GIS Method), basée sur la superposition des couches à l'aide des systèmes d'informations géographiques, a permis de cibler les sites optimaux en Algérie et de proposer une stratégie d'installation de fermes éoliennes relative au programme national des énergies renouvelables.

## 2.3. Modélisation mathématique de la distribution des fréquences du vent

### 2.3.1. Modèle d'ajustement

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

#### 2.3.1.1. Distribution de Weibull

Le modèle le plus utilisé pour traduire la variation des vitesses de vent est la loi de distribution de Weibull Sa densité de probabilité se présente sous la forme, [38] :

$$f(V) = \left(\frac{k}{c}\right) \left(\frac{V}{c}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{V}{c}\right)^k} \quad (2.1)$$

En assimilant les fréquences aux probabilités, la densité de probabilité  $f(V)$  représente la distribution en fréquences des vitesses mesurées.

$k$  et  $C$  sont des paramètres appelés communément les paramètres de Weibull.

Le paramètre  $k$  (facteur de forme) est sans dimension et caractérise la forme de la distribution de fréquence alors que  $C$  détermine la qualité du vent (facteur d'échelle). Ce dernier a la dimension d'une vitesse. La détermination de ces paramètres permet la connaissance de la distribution des vents pour un site donné. Le traitement peut se faire directement ou en passant par les fréquences par classes en considérant les moyennes. La fonction de répartition est donnée par :

$$f(V \leq V_x) = \int_0^{V_x} f(V) dV = 1 - e^{-\left(\frac{V_x}{c}\right)^k} \quad (2.2)$$

$$f(V \leq V_x) = \int_{V_x}^{\infty} f(V) dV = e^{-\left(\frac{V_x}{c}\right)^k} \quad (2.3)$$

### 2.3.1.2. Distribution hybride de Weibull

La distribution hybride de Weibull est utilisée lorsque la fréquence des vents calmes enregistrée, sur un site donné, est supérieure ou égale à 15% [36]. 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 :

$$f(V) = (1 - f f_0) \left(\frac{k}{c}\right) \left(\frac{V}{c}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{V}{c}\right)^k} \quad \text{Pour } V > 0 \quad (2.4)$$

$$f(V) = f f_0 \quad \text{Pour } V = 0 \quad (2.5)$$

Où  $f f_0$  représente la fréquence des vents calmes.

### 2.3.1.3. 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 :

$$f(V) = 2 \frac{V}{c^2} e^{-\left(\frac{V}{c}\right)^2} \quad (2.6)$$

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.

## 2.4. Évaluation du potentiel énergétique disponible

### 2.4.1. Puissance d'une éolienne

L'énergie fournie par le vent est une énergie cinétique, en fonction de la masse et de la vitesse du volume d'air. Si on considère que la masse volumique de l'air (masse de l'air par unité de volume) est constante, on peut dire que l'énergie fournie par le vent est en fonction de sa vitesse [10, 11].

$$E_c = \frac{1}{2} m V^2 \quad (2.7)$$

$m$ : Masse du volume d'air (kg)

$V$ : Vitesse instantanée du vent (m/s)

$E_c$ : Energie cinétique (joules)

Puissance théorique du vent (disponible) contenue dans un cylindre de section  $S$

$$P_{\text{Théorique}} = \frac{1}{2} \rho S V^3 \quad (2.8)$$

$\rho$ : Masse volumique de l'air (air atmosphérique sec, environ : 1.23 kg/m<sup>3</sup> à 15 °C et à pression atmosphérique 1.0132 bar)

$S$  : Surface balayée par le rotor éolien (m<sup>2</sup>)

Nous voyons donc que la puissance du vent est proportionnelle au cube de sa vitesse et au carré de l'aire balayée par le rotor. Cependant il y a des limites nous allons les présenter.

#### 2.4.2. Le coefficient de puissance

Parce que la vitesse en aval du dispositif de récupération n'est jamais nulle, la puissance ne peut être captée en sa totalité [12], le dispositif de conversion extrait une partie seulement  $P_m$  de la puissance incidente,  $P_{Th}$ . Ainsi, la puissance  $P_m$  disponible sur l'arbre d'un aérogénérateur s'exprime comme suit :

$$P_m = \frac{1}{2} C_p \cdot \rho \cdot S \cdot V^3 \quad (2.9)$$

Le coefficient  $C_p$  est une grandeur variable inférieure à 1, dit aussi rendement. Ce dernier est propre à chaque éolienne qui lie la puissance fournie par l'éolienne  $P_{Th}$  et la puissance du vent disponible à l'entrée de la voilure par la relation suivante. :

$$C_p = \frac{P_m}{P_{Th}} \quad (2.10)$$

#### 2-4-3. Limite de Betz

On peut estimer la valeur maximale de ce rendement, par la formule de Betz [13]. Cette dernière démontre qu'indépendamment du modèle de turbine, seuls 16/27 ièmes (59 %) de l'énergie cinétique du vent peuvent être transformés en énergies mécaniques. Représentant ainsi la puissance maximale qui peut être récupérée par une éolienne. C'est la valeur maximale de ce coefficient qui correspond à la limite dénommée limite de Betz du coefficient de puissance

$$C_p = \frac{16}{27} = 0,593 \quad (2.11)$$

Albert Betz a démontré que la puissance maximale récupérable  $P_m$  est égale aux 16/27 de la puissance incidente.  $P_{Th}$  [14] par la relation suivante:

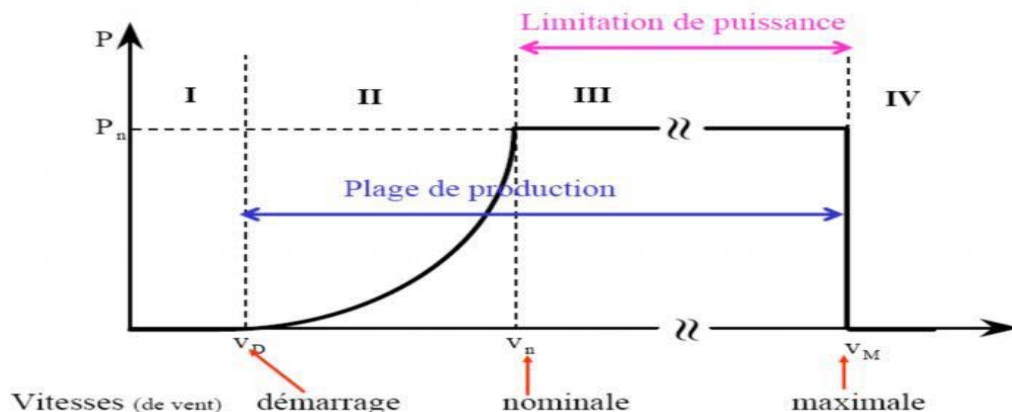
$$P_m = \frac{16}{27} P_{Th} \quad (2.12)$$

Pour commencer à produire de l'énergie, une éolienne exige une vitesse de vent minimale, dite vitesse de démarrage. Pour la plupart des éoliennes modernes, cette vitesse de vent est de 3 m/s. Quand le vent augmente, la production augmente avec le cube de la vitesse du vent. Pour une certaine vitesse de vent (dite vitesse nominale), la puissance qui arrive sur la génératrice est égale à la puissance maximale de cette génératrice.

Il faut donc limiter la puissance pour éviter que la génératrice ne soit détruite, quand le vent est trop violent (tempête), l'éolienne doit être arrêtée : c'est la vitesse d'arrêt [15]. Pour les vitesses de vent comprises entre la vitesse nominale et la vitesse d'arrêt, la production est constante, égale à la puissance de la génératrice. La puissance est régulière au niveau du rotor.

Alors Chaque éolienne admet trois paramètres techniques donnés par le constructeur qui sont les vitesses essentielles pour son exploitation (Fig.2.2) :

- **La vitesse de démarrage  $V_d$** : la vitesse ou l'éolienne commence a produire l'énergie
- **La vitesse moyenne nominale  $V_n$** : la vitesse ou l'éolienne produite une énergie maximale
- **La vitesse seuil  $V_M$** : vitesse ou l'éolienne s'arrête. La courbe montre que la puissance énergétique récupérable par une éolienne varie très rapidement avec la vitesse du vent. En effet, une éolienne ne délivre sa puissance nominale que dans un intervalle de vitesses du vent restreint.
- Pour les vitesses du vent autour de  $V_d$ , les pales démarrent leur rotation
- Au voisinage de  $V_n$ , la puissance délivrée augmente très rapidement. C'est la fourchette de croissance exponentielle de la puissance.
- Entre  $V_n$  et  $V_m$ , la rotation des pales est freinée par inclinaison des pales au niveau du moyeu. Cela permet à la machine d'éviter les trop fortes contraintes mécaniques dues aux très grandes vitesses. Dans cette fourchette de vitesses, l'énergie délivrée est alors constante.
- Au-delà de  $V_m$ , l'éolienne est arrêtée. C'est la vitesse de coupure.



**Figure (2-2) :** Courbe de la puissance éolienne en fonction de la vitesse du vent.

**Zone I :  $V < V_d$  :** La vitesse du vent est trop faible. La turbine peut tourner mais l'énergie à capter est trop faible.

**Zone II :  $V_d < V < V_n$  :** Le maximum de puissance est capté dans cette zone pour chaque vitesse de vent. Différentes méthodes existent pour optimiser l'énergie extraite. Cette zone correspond au fonctionnement à charge partielle.

**Zone III :  $V_n < V < V_m$ :** La puissance disponible devient trop importante. La puissance extraite est donc limitée, tout en restant le plus proche possible de la puissance nominale de la turbine ( $P_n$ ). Cette zone correspond au fonctionnement à pleine charge [16].

## 2.5. Energie produite par une éolienne

L'énergie électrique fournie par une éolienne est fortement variable au cours du temps [17]. Ainsi, l'énergie  $E_e$  extraite d'une éolienne peut être calculée en fonction du temps en heure dans une période T par la formule suivante :

$$E_e = P_e \cdot T \quad (2.13)$$

Où  $P_e$  représente la puissance moyenne d'une éolienne [18]. Sachant que chaque éolienne a sa propre courbe de puissance fournis par le constructeur.

## 2.6. Rendement de la machine

La caractéristique la plus importante est le rendement énergétique qui est défini par le rapport de la puissance nominale fournie, à la puissance électrique pour une vitesse du vent constante

du rayonnement incident que reçoit la photopile. Il donne un facteur de conversion de l'énergie lumineuse en énergie électrique. Soit :

$$\eta = \frac{\langle P_n \rangle}{\langle P_{\text{Théorique}} \rangle} \quad (2.14)$$

Avec :

$$P_{\text{Théorique}} = \frac{1}{2} \rho S \langle V_n^3 \rangle \quad (2.15)$$

$\eta$  représente le rendement machine.

Les systèmes de conversion de l'énergie éolienne sont utilisés au maximum de leurs performances si leur choix est effectué, correctement, en fonction des paramètres du site d'implantation [39].

## **Chapitre 3**

# **Présentations et discussions des résultats**

### **3.1. Présentation de RETScreen**

RETScreen International est un logiciel « d'analyse de projets d'énergie propre ». Il offre donc une approche orientée sur la réalisation de projets plutôt qu'une approche d'optimisation de systèmes. RETScreen International est supporté par Canmet ÉNERGIE de Ressources naturelles Canada. Ce logiciel est très populaire et est utilisé dans plus de 200 pays et par plus de 260 000 utilisateurs [43]. Pour le présent projet, la version utilisée est RETScreen 4 et elle est disponible gratuitement.

#### **3.1.1. Principales caractéristiques**

Le logiciel RETScreen permet de simuler différents types de projets, pour différents types d'établissement ou de technologies et selon différentes méthodes d'analyse. Les types de projets possibles sont :

- mesures d'efficacité énergétique,
- production d'électricité,
- production d'électricité – multiples technologies
- production de chaleur,
- production de froid,
- production de chaleur et d'électricité,
- production de froid et d'électricité,
- production de chaleur et de froid,
- production de froid, de chaleur et d'électricité,
- défini par l'utilisateur.

Dans notre travail, nous choisissons le type « production d'électricité ». Pour chacune des options, il est possible de définir des sous-options. Pour les projets de mesures d'efficacité énergétique, on peut choisir le type d'établissement du projet parmi les options suivantes :

- Résidentiel,
- Commercial,
- Institutionnel,
- Industriel,
- Autre.

Dans notre travail, nous choisissons l'option « institutionnel ». Pour la production d'électricité, les technologies disponibles sont nombreuses :

- Electricité géothermique,
- électricité solaire thermique,
- énergie de la houle,

- énergie des courants océaniques,
- énergie marémotrice
- éolienne ( Notre point d'étude)
- moteur à pistons
- photovoltaïque,
- piles à combustible,
- turbine à gaz,
- turbine à gaz – cycle combiné,
- turbine à vapeur,
- turbine hydroélectrique,
- Autre.

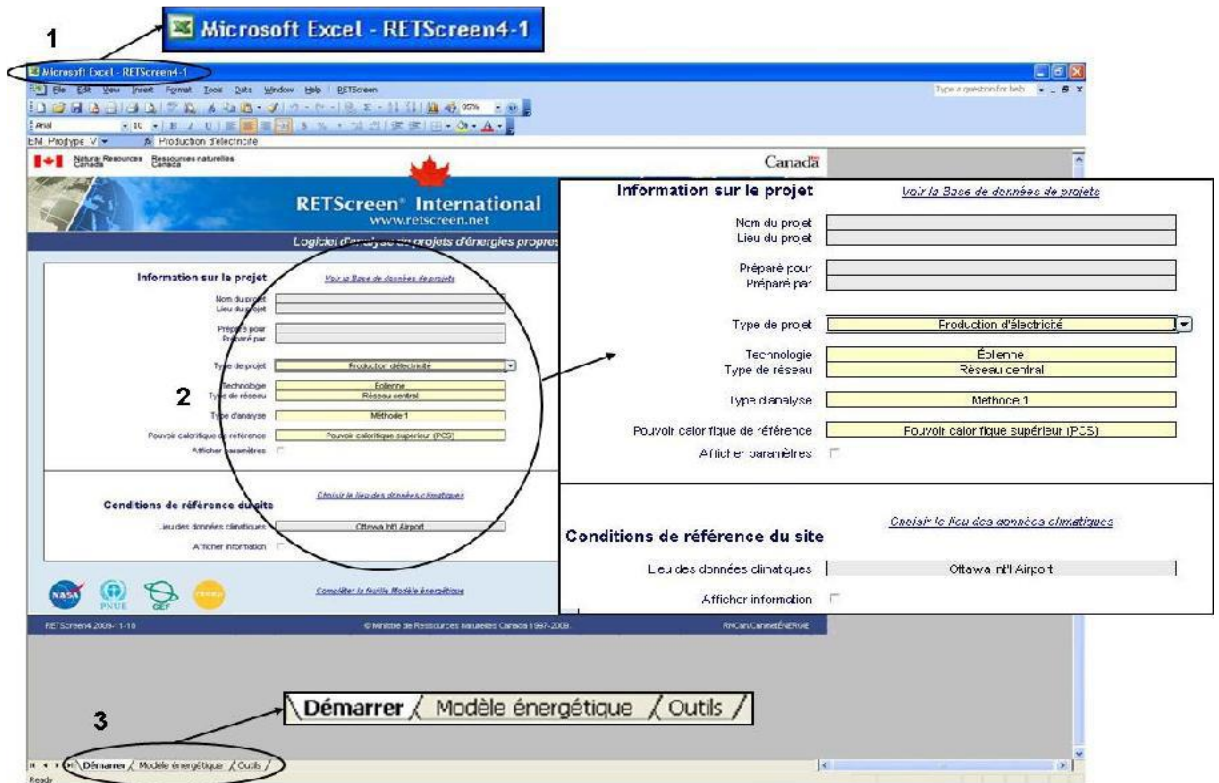
Il est aussi possible de déterminer le type de réseau parmi les options suivantes :

- Réseau central,
- réseau central et charge interne,
- réseau isolé,
- réseau isolé et charge interne,
- Hors réseau.

RETSscreen permet donc un bon nombre d'analyses pour des projets très diversifiés. De plus, il est possible de faire deux types d'analyse pour un même projet : une analyse simple et courte (méthode 1) ou une analyse approfondie nécessitant de nombreuses données (méthode2). Pour la présente étude, la production d'énergie sera le type de projet utilisé et pour une situation hors réseau.

### **3.1.2. Interfaces**

Un grand avantage de RETScreen est son interface commune et déjà bien connue de tous. Ce logiciel est en fait des feuilles de calculs sophistiquées qui s'ouvrent dans Excel comme montré sur la figure (3-1).



**Figure (3-1) : Interface RETScreen**

Son utilisation est donc simple et intuitive. Il suffit de choisir les options ou d'entrer les données en commençant par le haut de la feuille de calculs et onglet par onglet comme indiqué à la section 2 et 3 de la Figure 3-1. Les résultats s'affichent et se mettent à jour au fur et à mesure que les informations sont entrées.



**Figure (3-2) : Interface RETScreen – Onglet « démarrer »**

L'onglet « démarrer » est relativement court à remplir (Figure 3-2). Ce sont les informations

générales du projet. L'onglet « modèle énergétique » (si on choisit la méthode d'analyse 1) comprend les données sur le système de production d'énergie, l'analyse des émissions et l'analyse financière. Si la méthode d'analyse 2 est choisie, l'onglet « modèle énergétique » ne comprend que les informations reliées au système de production d'énergie, les autres sections sont définies dans des onglets séparés : analyse des coûts, analyse des émissions, analyse financière et analyse de risque.

### **3.1.3. Données d'entrer**

Pour les données entrées, on débute avec l'onglet « démarrer », on entre les informations du projet donc le nom du projet, le lieu du projet et pour qui et par qui le projet est réalisé, ensuite on choisit selon les options définies le type de projet, la technologie désirée et le type de réseau à simuler. Il faut aussi choisir le type d'analyse, méthode 1 ou méthode 2, et le pouvoir calorifique de référence, pouvoir calorifique supérieur ou pouvoir calorifique inférieur.

Une autre partie importante de l'onglet « démarrer » est la définition du site. Certains sites de partout à travers le monde sont déjà entrés dans la base de données de RETScreen avec des données moyennes par mois de gisement éolien (en m/s). Il ne suffit que de sélectionner le pays, la province ou l'état et finalement la ville désirée.

Pour les autres données, prenons l'exemple avec un projet en utilisant le type d'analyse : méthode1. En choisissant, ce type d'analyse simplifiée, on comprend bien les données nécessaires pour RETScreen.

Pour définir le système de production d'électricité, les éoliennes doivent être sélectionnés parmi la base de données des équipements de RETScreen. On doit déterminer leur facteur d'utilisation en pourcentage et indiquer le prix de l'électricité exportée en \$/MWh.

Le coût pour le système de production d'électricité doit être déterminé (coût initial pour les éoliennes ). Les autres sections à remplir sont les encouragements et subventions, les frais annuels et paiements de la dette et les économies et revenus annuels.

En résumé, les informations à fournir sont plutôt d'ordre financier une fois que le système est défini.

## 3.2. Application aux sites algériens

### 3.2.1 .Choix des cites

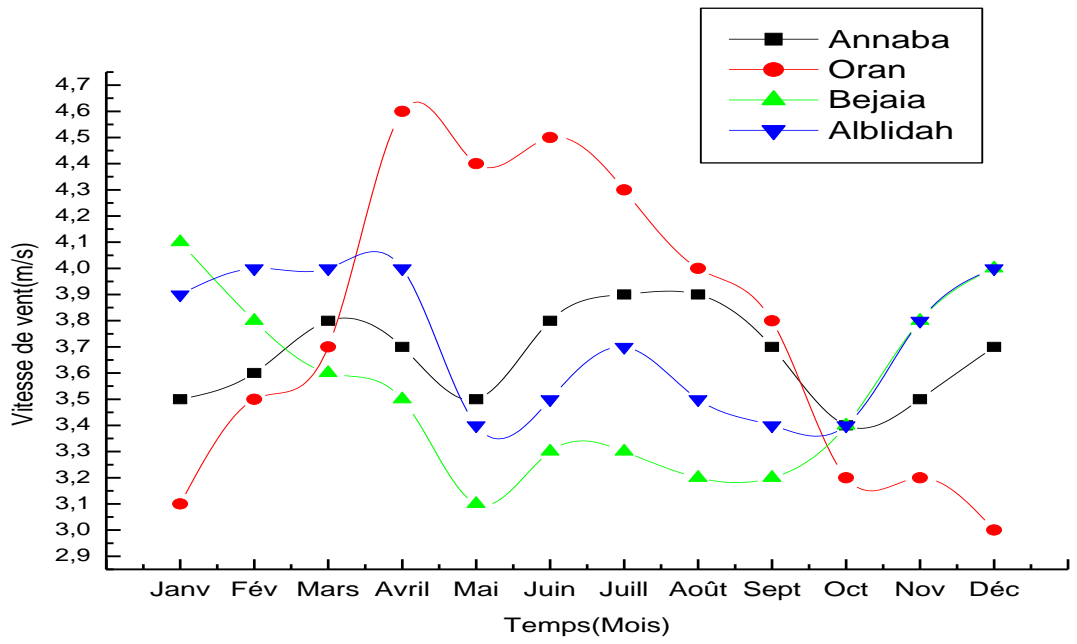
Nous avons choisis des villes types représentant du territoire algérien, le tableau (3-1) représente les coordonnées géographiques de notre :

Région	Longitude (°)	Latitude (°)	Altitude (m)
Adrar	-0.3	27.9	263
In Salah	2.5	27.2	293
Timimoun	0.3	29.3	312
Tamanrasset	5.5	22.8	1378
Annaba	7.8	36.8	4
Oran	-0.6	35.6	90
Bejaia	5.1	36.7	2
Al-Blidah	2.8	36.5	383
Batna	6.2	35.6	1052
Khenchela	7.2	35.4	668
Tebessa	8.1	35.5	813
Hassi Khalifa-Elouadi	7	33.6	172
Tiaret	1.4	35.3	1127
Ayn aş-Şāfra- Elnaama	-0.6	32.8	967
Saidah	0.1	34.8	918
El Bayadh	1.00	33.7	1341
al-Jilfah	3.3	34.7	788
Msila	4.5	35.7	667
Biskra	5.7	34.8	87
al-Aǧwāt	2.9	33.8	861

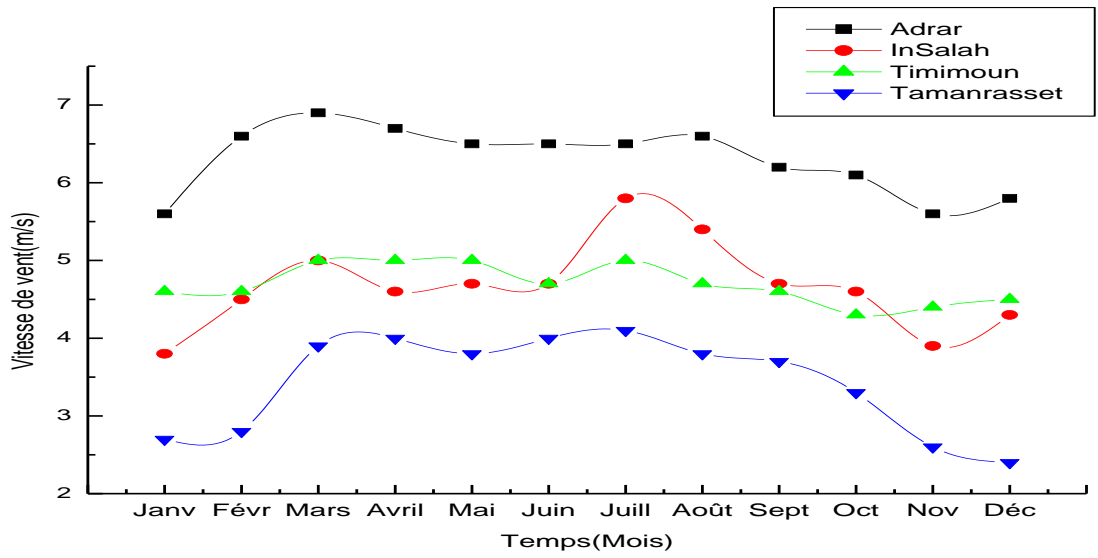
**Tableau 3-1:** Coordonnées géographiques de ces sites (32)

### 3.2.2 .Variation mensuelle de la vitesse moyenne à 10m du sol

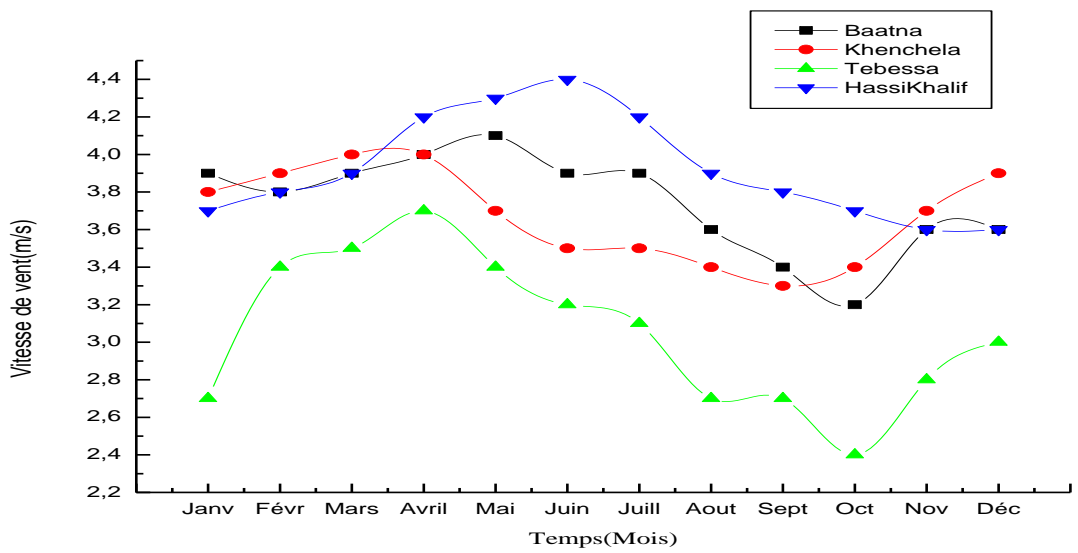
Les graphes 3-3 représentent les moyennes mensuelles de la vitesse du vent pour des types villes Sélectionnés représentent les cinq régions : Sud, Nord, Ouest, Est et le milieu du territoire algérien .Ces villes sont respectivement :



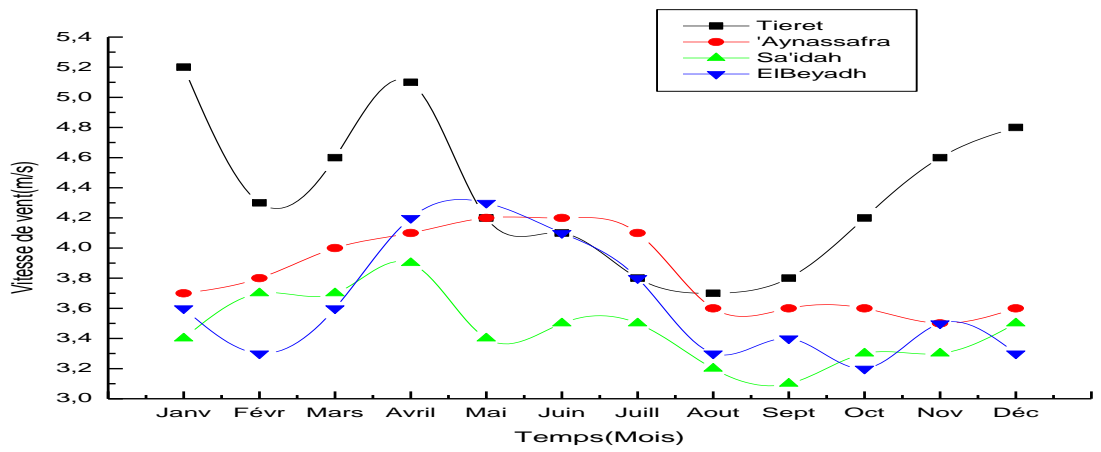
Nord



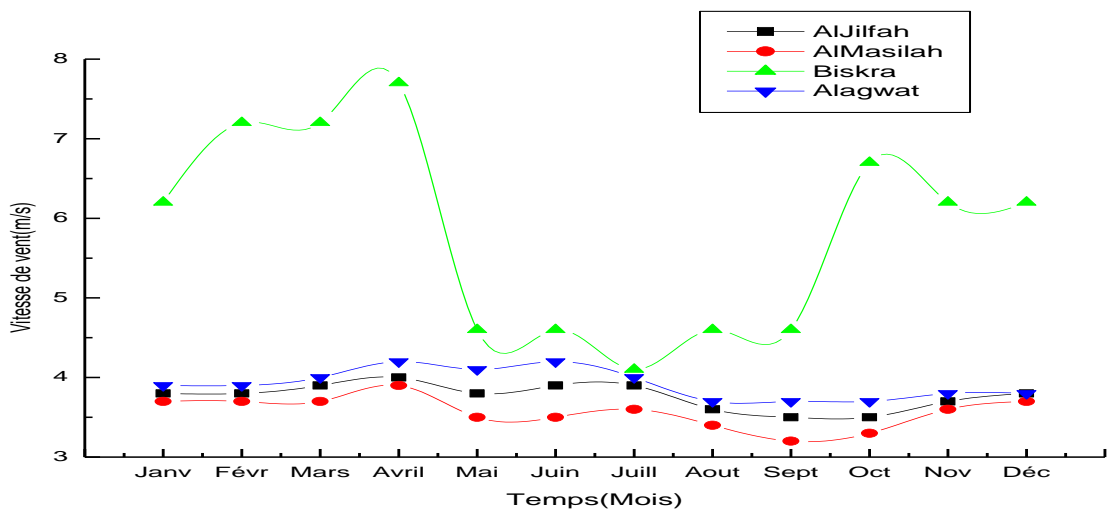
Sud



### Est



### Ouest



### Milieu

Après les résultats obtenus, nous pouvons remarquer que la meilleure zone éolienne pour chaque région en rappelant que :

Adrar représentant le Sud

Oran représentant le Nord

Hassi khalifa-Elouadi représentant l'Est

Tiaret représentant l'Ouest

Biskra représentant le milieu

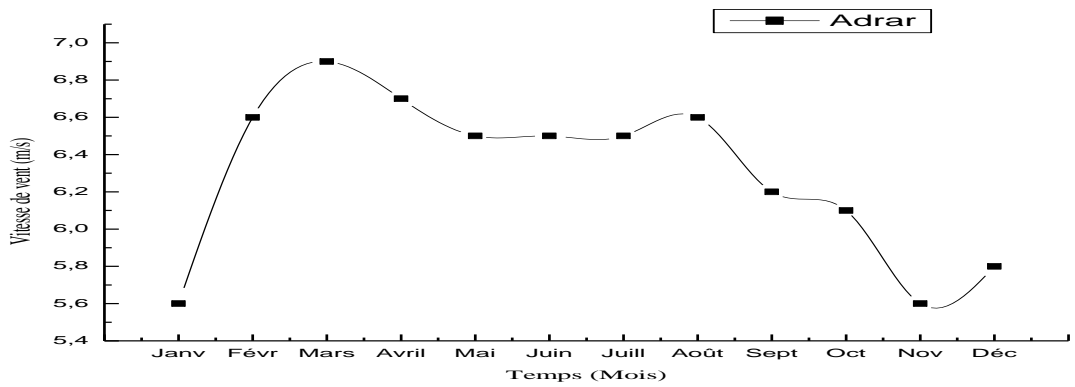
Les valeurs moyennes de la puissance pour les différents sites sont représentées dans le tableau (3.2).

Site	Adrar		Oran-Senia		Hassikhalifa- Elouadi		Tiaret		Biskra	
	V(m/s)	P(kw)	V(m/s)	P(kw)	V(m/s)	P(kw)	V(m/s)	P(kw)	V(m/s)	P(kw)
<b>Janvier</b>	5,6	146,63	3,1	24,87	3,7	42,29	5,2	117,40	6,2	198,99
<b>Février</b>	6,6	240,04	3,5	35,80	3,8	45,82	4,3	66,38	7,2	311,64
<b>Mars</b>	6,9	274,29	3,7	42,29	3,9	49,53	4,6	81,27	7,2	311,64
<b>Avril</b>	6,7	251,12	4,6	81,27	4,2	61,86	5,1	110,76	7,7	381,18
<b>Mai</b>	6,5	229,30	4,4	71,12	4,3	66,38	4,2	61,86	4,6	81,27
<b>Juin</b>	6,5	229,30	4,5	76,08	4,4	71,12	4,1	57,55	4,6	81,27
<b>Juillet</b>	6,5	229,30	4,3	66,38	4,2	61,86	3,8	45,82	4,1	57,55
<b>Août</b>	6,6	240,04	4,0	53,44	3,9	49,53	3,7	42,29	4,6	81,27
<b>Septembre</b>	6,2	198,99	3,8	45,82	3,8	45,82	3,8	45,82	4,6	81,27
<b>Octobre</b>	6,1	189,52	3,2	27,36	3,7	42,29	4,2	61,86	6,7	251,12
<b>Novembre</b>	5,6	146,63	3,2	27,36	3,6	38,96	4,6	81,27	6,2	198,99
<b>Décembre</b>	5,8	162,91	3,0	22,54	3,6	38,96	4,8	92,34	6,2	198,99
<b>Moyènnannuelle</b>	<b>6,3</b>	<b>208,78</b>	<b>3,8</b>	<b>45,82</b>	<b>3,9</b>	<b>49,53</b>	<b>4,4</b>	<b>71,12</b>	<b>5,8</b>	<b>162,91</b>

**Tableau 3-2** : valeurs mensuelles moyennes de la vitesse et de la densité de puissance

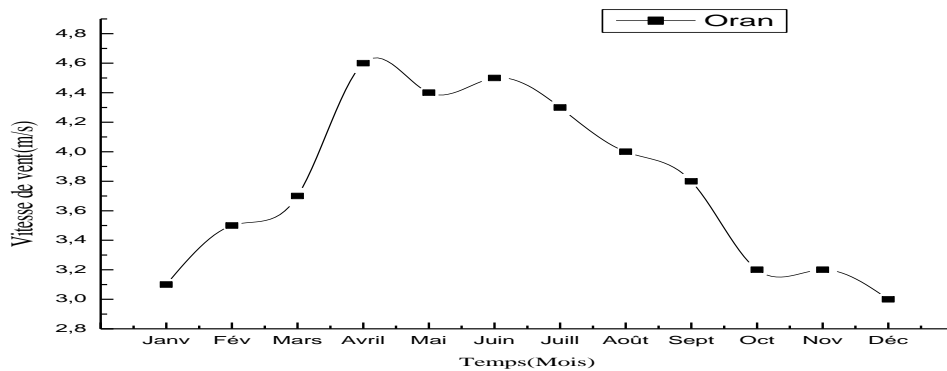
Nous remarquons que la vitesse moyenne varie considérablement en fonction des mois. La variation de vitesse entre les mois atteint 6,3 m/s pour Adrar. Notons aussi que le mois de Mars correspond à la valeur de la vitesse moyenne maximale pour Adrar avec 6,9m/s, et le mois d'Avril pour les sites Oran et Biskra respectivement, 4,6m/s et 7,7m/s. Le mois de Juin pour le site d' Hassi khalifa avec 4,4m/s et le mois de Janvier correspond à la valeur 5,2m/s pour Tiaret.

Les vitesses moyennes minimales pour l'ensemble des sites choisis ont été estimées pour les mois de Novembre avec 5,6m/s, 3,6m/s respectivement pour Adrar, Hassi-khalifa, et Décembre avec 3m/s pour Oran et les mois Juillet, Aout avec 4,1 m/s, 3,7m/s respectivement pour Biskra et Tiaret. Notons aussi un bon potentiel éolien au site d'Adrar avec une puissance moyenne annuelle égale à 208,78kw.



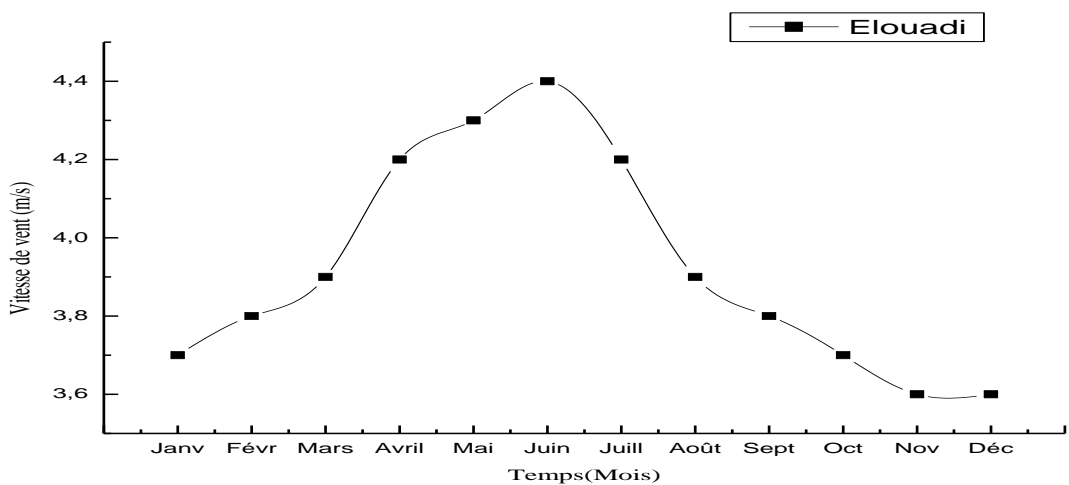
**Figure (3.2) :** Vitesse moyenne du vent mensuelle à Adrar à 10 m d'altitude

A Adrar, Les vitesses du vent mensuelles moyennes à 10 m d'altitude ont été représentées à la figure 3.4 La vitesse du vent a une valeur maximale de 6,9 m/s en Mars, alors que la vitesse du vent minimale de 5,6 m/s est enregistrée en Décembre et Janvier.



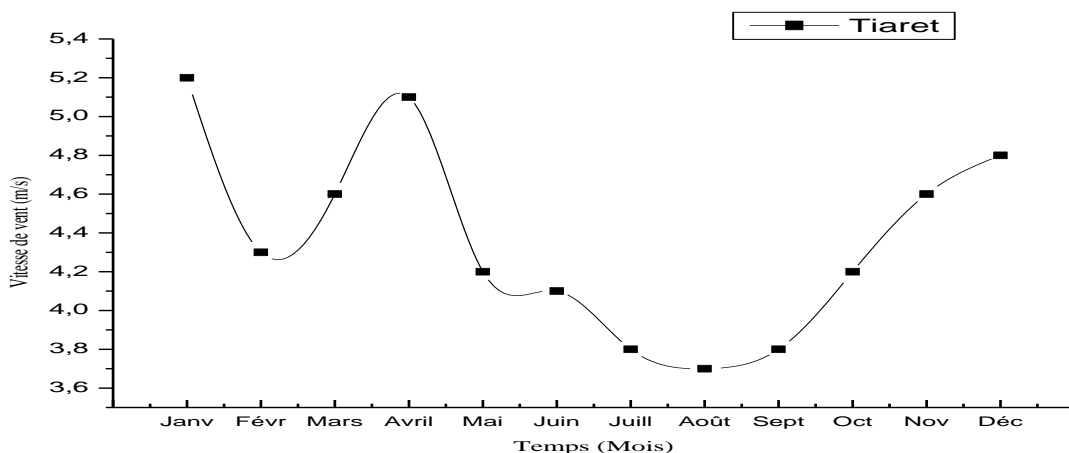
**Figure (3.3) :** Vitesse moyenne du vent mensuelle à Oran à 10 m d'altitude

La vitesse du vent a une valeur maximale de 4,6 m/s en Avril, alors que la vitesse du vent minimale de 3 m/s est enregistrée en Décembre



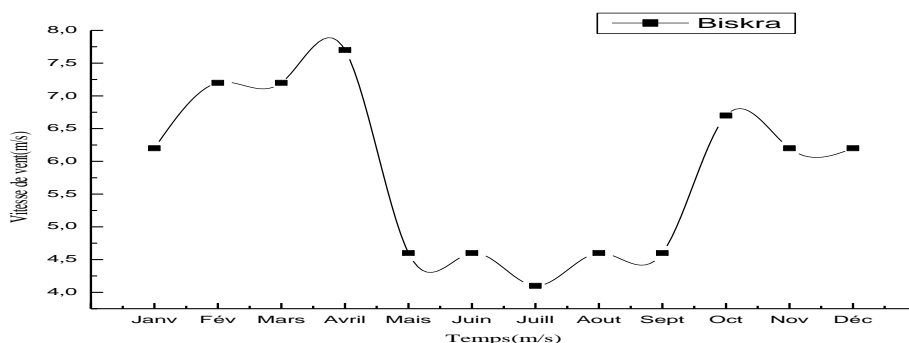
**Figure (3.4):** Vitesse moyenne du vent mensuelle à Elouadi à 10 m d'altitude

Pour Elouadi la vitesse du vent a une valeur maximale de 4,4 m/s en Juin, alors que la vitesse du vent minimale de 3,6 m/s est enregistrée en Novembre et Décembre.



**Figure 3-5:** Vitesse moyenne du vent mensuelle à Tiaret à 10 m d'altitude

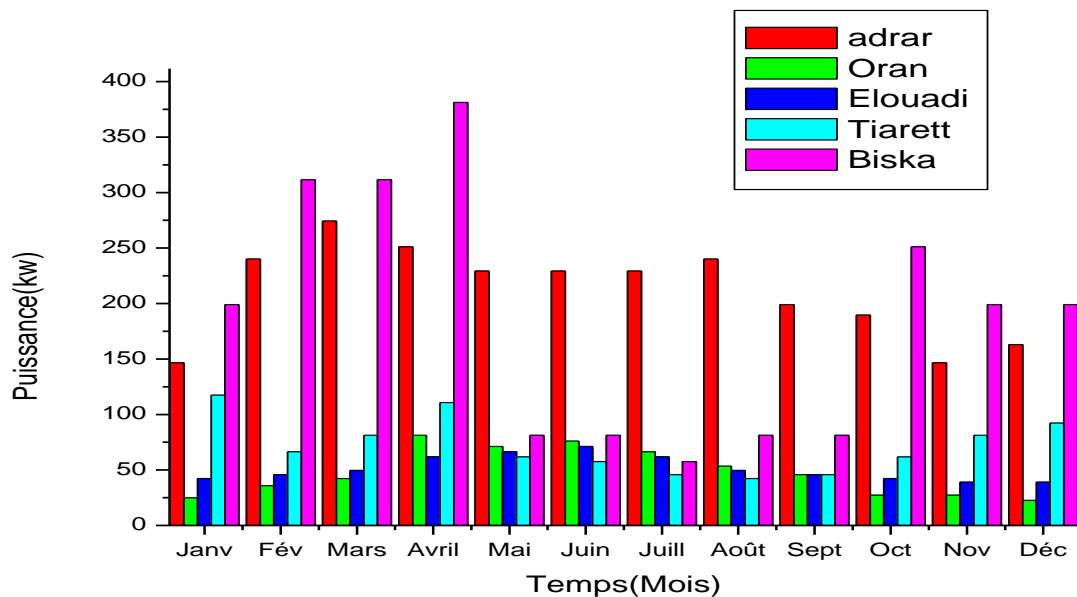
A Tiaret la vitesse du vent a une valeur maximale de 5,2 m/s en Janvier, alors que la vitesse du vent minimale de 3,7 m/s est enregistrée en Aout.



**Figure 3-6:** Vitesse moyenne du vent mensuelle à Biskra à 10 m d'altitude

A Biskra la vitesse du vent a une valeur maximale de 7,7 m/s en Avril, alors que la vitesse du vent minimale de 4,1 m/s est enregistrée en Juillet.

La figure suivante présente un histogramme de la puissance moyenne mensuelle pour les cinq sites :



**Figure (3.7):** Distribution de la vitesse de vent mensuelle pour les sites

Alors d'après tous les résultats discutés, on peut conclure que pour une altitude de 10m :

- Le site d'Adrar à un potentiel énergétique éolien annuel assez important, tel que l'énergie produise en ce site est 208,78 KW.

- le site de Biskra est le site où le potentiel énergétique éolien est le plus fort par rapport aux autres sites, tel que l'énergie produise annuelle 162,91 KW avec une vitesse de vent maximale à la valeur 7,7m/s.

- Donc nous proposons d'utiliser cette zone pour réaliser une centrale éolienne à l'avenir.

### 3.2.3. Dimensionnement de l'aérogénérateur pour le site Biskra

Après avoir recueilli les connaissances sur les densités des puissances moyennes de chaque site, on propose de faire un dimensionnement de l'aérogénérateur approprié à installer dans le site de Biskra qui est considéré le site le plus favorable parmi les sites étudiés.

Le site internet [Windenergie-Daten der Schweiz [www.wind-data.ch](http://www.wind-data.ch)] nous permet un choix d'aérogénérateur aspect commerciale pour une plage de puissance allant de 7 KW à 30 KW.

Dans ce qui suit, nous utiliserons résultats du calcul pour déterminer la possibilité d'installer une éolienne sur ce site. Pour cela nous considérons une éolienne de moyenne puissance Fuhrländer FL 30, et une autre éolienne de petite puissance Aventa AV-7.

# Conclusion

## Conclusion

L'énergie éolienne est l'une des énergies dans l'ancienne énergie de la Terre est considéré comme respectueux de l'environnement, pour cela, dans cette étude on veut de rechercher les moyens d'investir sur cette énergie dans notre pays l'Algérie.

L'intérêt de notre travail se base sur l'évaluation du gisement éolien et son potentiel en Algérie. A cet effet nous avons détaillé une étude sur l'origine de vent, la définition de la machine éolienne qui transforme l'énergie cinétique du vent en une énergie mécanique de rotation. Par ailleurs, nous présenterons les différents types et classes d'éoliennes, leurs caractéristiques, leurs différentes composantes et leurs différents types.

Une description sommaire a été faite du logiciel RETScreen utilisé dans l'estimation du gisement éolien en Algérie et la puissance moyenne pour des cinq sites types choisis a l'étude.

Les performances des systèmes éoliens sont fortement affectées par la vitesse du vent.

L'étude de l'évaluation de la vitesse moyenne à 10m du sol a montré que la meilleure zone éolienne pour chaque région en rappelant que :

Adrar représentant le Sud,

Oran représentant le Nord,

Hassi khalifa-Elouadi représentant l'Est,

Tiaret représentant l'Ouest,

Biskra représentant le milieu.

L'estimation de la puissance renouvelable obtenu par le logiciel RETScreen pour les cinq sites : Adrar, Oran, Hassi khalifa, Tiaret et Biskra, est respectivement : 208,78 kw , 45,82 kw, 49,53 kw, 71,12 kw et 162,91 kw.

Nous avons obtenu que la meilleure zone de vent dans le sud est Adrar et la zone de Biskra ont a un bon potentiel pour cette énergie par rapport à la zone de Tiaret, Oran et Elouadi et nous avons proposé d'exploiter cette zone pour obtenir une centrale éolienne à l'avenir , et nous avons proposé le type de l'aérogénérateur est possible d'utiliser pour installer une ferme éolien dans ce site pour exploiter cette énergie.

## Bibliographie

- [1] N. Kasbadji Merzouk, "Wind Energy Potential of Algeria", Inter. J. Renewable Energy, vol. 21/3-4, pp. 553-562, (2000).
- [2] S. M .Boudia . S. Adjiri, Analyse technico-économique des systèmes de conversion d'énergie éolienne-région de Sétif. Revue des Energies Renouvelables SIENR'14 Ghardaïa (2014) 115 – 120
- [3] CREG, Programme des énergies renouvelables 2015-2030.
- [4] [http://tpe.samron.free.fr/TPE-SamRon/I\\_Histoire et fonctionnement d'éolienne.html](http://tpe.samron.free.fr/TPE-SamRon/I_Histoire_et_fonctionnement_d_éolienne.html) consulté le 20 mars 2018.
- [5] [http://www.vitaminefr.com/articles2014/adrar-remise-en-service-de-la-plus-vieilleeolienne/Articles\\_19609\\_196168\\_1\\_1.html](http://www.vitaminefr.com/articles2014/adrar-remise-en-service-de-la-plus-vieilleeolienne/Articles_19609_196168_1_1.html) le 20 mars 2018
- [6] F .Chellali , «Etude du comportement stochastique et cyclique du vent en Algérie»,
- [7] C. Kost, B. Pfluger, W. Eichhammer, M. Ragwitz, Fruitful symbiosis: Why an export bundled with wind energy is the most feasible option for North African concentrated solar power. Energy Policy, Energy Policy 39 (2011) 7136–7145 Thèse de Doctorat, Ecole Nationale Polytechnique, Alger.
- [8] <http://www.planete-eolienne.fr/>
- [9] Nachida Kasbadji Merzouk « éolienne, PPT» 2006.
- [10] Y. Ettoumi, « Ressources Energétiques Renouvelables en Algérie. » Thèse, USTHB, Alger 2002.
- [11] R. Maouedj, S. Bousalem , B. Benyoucef, « Optimisation d'un système de pompage éolien Application aux sites sahariens », Revue des Energies Renouvelables, 2008
- [12] Chang TJ Wu YT Hsu HY Chu CR Liao CM (2003) Assessment of wind characteristics and wind turbine characteristics in Taiwan. Renewable Energy 28:851-871
- [13] Irwin JS. A theoretical variation of the wind profile power law exponent as a function of surface roughness length and stability. Atmos Environ 1979;13:191-194.
- [14] S. Metatla . «Optimisation et régulation des puissances d'une éolienne à base d'une MADA » Mémoire de magister de école nationale supérieure Polytechnique d'Alger, 2009.
- [15] R. Maouedj, S. Bousalem , B. Benyoucef, « Optimisation d'un système de pompage éolien Application aux sites sahariens», Revue des Energies Renouvelables, 2008 .
- [16] [16] C.W. Pereira, « L'énergie éolienne Principe de fonctionnement », développement viable Mai ,2006.
- [17] <http://www.manicore.com/documentation/eolien.html>
- [18] A.W. Dahmouni, M. Ben Salah, F. Askri, C. Kerkeni, S. Ben Nasrallah, Assessment of wind energy potential and optimal electricity generation in Borj-Cedria, Tunisia, Renewable and Sustainable Energy Reviews 15 (2011) 815–820
- [19] (B. Paluch, "Introduction à l'énergie éolienne," Revue REE, No. 5, pp. 35-50, Mai 2005.),
- [20] C.W. Pereira, « L'énergie éolienne Principe de fonctionnement », développement viable Mai ,2006.
- [21] Guide des Energie Renouvelables, Ministère de l'Energie et des Mines Algériennes ;Edition 2007
- [22] <http://perso.numericable.fr/~flopark/tpe/>
- [23] METATLA SAMIR «Optimisation et régulation des puissances d'une éolienne à base d'une MADA » mémoire de magister de école nationale supérieure polytechnique d'Alger, 2009.
- [24] (B. Paluch, "Introduction à l'énergie éolienne," Revue REE, No. 5, pp. 35-50, Mai 2005.),

- [25] A. Boyette. «contrôle commande d'un générateur asynchrone à double alimentation avec un système de stockage pour la production éolienne» thèse de doctorat de l'université Henri Poincaré, Nancy, 2006. )
- [26] N. Laverdure «Sur l'intégration des générateurs éoliens dans les réseaux faibles ou insulaires» .Thèse de doctorat d'institut national polytechnique de Grenoble, 2005
- [27] LATRECHE Mohammed «Tahar Commande Floue de la Machine Synchrone à Aimant Permanent (MSAP) utilisée dans un système éolien» Mémoire de Magister Université Ferhat Abbas de Setif, 2012.
- [28] <http://oooxygene.alwaysdata.net/eolienne.html>
- [29] Syndicat des énergies renouvelables, France Énergie Éolienne, mai 2010
- [30] A.Hariz, Mémoire de Etat de l'Art sur les Energies Solaire et Eolienne en Algérie , Année 2010
- [31] I.Troen et E.L. Petersen, « European Wind Atlas », Riso National Laboratory, Roskilde, Danmark, 1989.
- [32] N. Kasbadji Merzouk « An Evaluation of Wind Energy Potential in Algeria ». Proceeding of EWEC'94 congress, Thessaloniki, Grèce, 1994.
- [33] N. Kasbadji Merzouk « Atlas vent de l'Algérie, Résultats Préliminaires ». Revue des Energies Renouvelables, numéro spéciale JNVER99, pp 209-214, 1999.
- [34] N.Kasbadji Merzouk, N. Messen. « Contribution à l'Etude du Vent en Rapport avec l'Erosion Eolienne dans les Zones Arides » Revue Energies Renouvelables, numéro Spéciale Zones Arides, 2002.
- [35] H. Nedjari Daaou, S. Haddouche et N. Kasbadji Merzouk, « Amélioration de la carte des vents à partir des données interpolées » Revue Energies Renouvelables, numéro Spécial, Energies Photovoltaïque et éolienne, pp 119- 124., 2003.
- [36] N.Kasbadji. MERZOUK « Evaluation du gisement énergétique éolien contribution a la détermination du profil vertical de la direction du vent en Algérie » thèse de Doctorat, l'Université Abou Bekr Belkaid de Tlemcen, 2006.
- [37] Energies renouvelables: Publication d'un nouvel atlas éolien de l'Algérie, Samedi 07 Avril 2018
- [38] B. Multon, X. Roboam, B. Dakyo, C. Nichita, O. Gergaud, H. Ben Ahmed,
- [39] M.Kasbadji., « An evaluation of wind energy potential in algeria ». Proceeding of ewec'94 congress,Thessaloniki, grece, 1994.
- [40] A. Shata. Wind energy as a potential generation source at Ras Benas. Egypt. Renewable and Sustainable Energy Reviews 2010;14:2167-2173.
- [41] K.M. Dalalah D. Assessment of wind energy potential for selected areas in Jordan. Renewable Energy 2013 ;59 : 75-81.
- [42] A. Shata. Evaluation of wind energy potential and electricity generation on the coast of Mediterranean Sea in Egypt. Renewable Energy 2006;31:1183-202.
- [43] Joséanne Bélanger-Gravel, mémoire de « Analyse technico-économique d'un système hybride éolienphotovoltaïque en comparaison avec les systèmes photovoltaïque et éolien seuls », décembre 2011

## Résumé

Objectif de ce travail est une contribution à l'évaluation du gisement éolien en Algérie à l'aide du logiciel RETScreen.

L'étude de la vitesse du vent moyenne à 10m du sol a montré que les meilleures zones éoliennes pour le territoire national sont : Adrar, Oran, Hassi khalifa, Tiaret et Biskra.

Nous avons obtenu que la meilleure zone éolienne dans le sud, tel qu'Adrar avec une puissance égale à 208,78 kw et la zone de Biskra avec une puissance égale à 162,91 kw.

## Abstract

Objective of this work is a contribution to the evaluation of the wind farm in Algeria using the software RETScreen.

The study of the average wind Speed at 10m from the sun showed that the best wind zones for the national territory are: Adrar, Oran, Hassi Khalifa, Tiarat and Biskra.

We have the best wind zone in the south, such as Adrar with a power equal to 208.78 kw and the area of Biskra with a power equal to 162.91 kw.

## المخلص

هدف هذا العمل هو المساهمة في تقييم الطاقة الناتجة عن الرياح في الجزائر باستخدام برنامج " تحليل مشاريع الطاقة النظيفة " أظهرت نتائج دراسة متوسط سرعة الرياح عند 10 أمتار من سطح الأرض أن أفضل مناطق الرياح للإقليم الوطني هي : أدرار، وهران، الوادي ، تيارت و بسكرة. ولدينا أفضل منطقتي الرياح في الجنوب هي أدرار مع إستطاعة مساوية لـ 208.78kw ومنطقة بسكرة بإستطاعة تساوي 162.91kw.