



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique



Université Ahmed Draïa Adrar
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département des sciences de la matière

MEMOIRE

MASTER ACADÉMIQUE

Domaine : sciences de la matière

Filière : Sciences et de la Technologie

Spécialité : physique énergétique et énergies renouvelables

Intitulé



Présenté par :

Mm. KOUIDRI Wafa

Mm. LEMAALEM Rachida

Soutenu publiquement le 30/05/2018

Devant le jury :

Président :	OMARI Boumediene	M.A	Univ. Adrar
Promoteur :	BENMEDJAHED Miloud	M. R. A	URER-MS. Adrar
Examineur :	MAOUEDJ Rachid	M. R. A	URER-MS. Adrar

Année Universitaire : 2017/2018

Remerciement

Ce travail a été réalisé à l'Université d'Adrar à la Faculté des Sciences et Technologies par les étudiantes KOUIDRI Wafa et LEMAALEM Rachida sous la supervision du Dr BENMEDJAHED Miloud.

Pour commencer, Nous tenons à remercier, Monsieur BENMEDJAHED Miloud, pour la manière dont il a encadré notre travail (sans aucun doute celle qui nous correspondait le mieux) ; avec bonne humeur, rigueur scientifique et enthousiasme.

Merci aussi à Monsieur MAOUEDJ Rachid co-directeur de notre mémoire, pour avoir suivi notre travail avec un grand intérêt. Nous tenons à lui exprimer notre profonde gratitude

Monsieur OMARI Boumediene enseignant à l'Université d'Adrar ; vous le remercions infiniment pour l'honneur qu'il nous fait en acceptant la présidence du jury.

Monsieur MOUHADJER Samir chercheur à l'Unité de Recherche en Energies renouvelables en Milieu Saharien (URERMS) Adrar. Nous le remercions de nous avoir honorés par sa présence et d'avoir accepté de faire partie de ce jury.

Nous tenons tout spécialement à remercier tous les Collègues de 2^{ème} année master physique énergétique de la faculté des Sciences et Technologies /Université d'Adrar et tous les membres de l' Unité de Recherche en Energies Renouvelables en milieu Saharien/ Adrar.

Merci 



Dédicace

Dédier mon meilleur fruit.

Que Dieu a fait le paradis sous ses pieds, à la bougie qui fond pour éclairer ma route et qui est encore et non éteinte, à la personne la plus précieuse qui existe: ma mère bien-aimée.

Pour ce la qui a tout sacrifié pour le bien de mon bonheur et de nombreuses années de travail et encore pour me fournir et mes frères une vie décente et nous voir au plus haut niveau: mon cher père.

Pour le partenaire de ma vie et mon deuxième cher et précieux à mon cœur: mon mari bien-aimé.

À ma chère sœur chahinaz, Amira, mon frère Mohammed et Abd elHalim, avec mes vœux de succès et d'excellence, et d'atteindre le plus haut niveau.

À tous mes parents et à mes proches, en particulier ma grand-mère, La grand-mère de ma mère, mes oncles, mes sœurs et cousins et tous leurs enfants.

A celui que Dieu a pitié de leur bon esprit, sérieux et sérieux et de ma grand-mère, que Dieu ait pitié d'eux.

A qui je considérais une fille de ses filles, la mère de mon mari, et qui sert de seconde mère, n'oubliera jamais Le père de mon mari, qui est mon père comme deuxième et tout à leurs enfants et la femme du frère de mon mari, qui me considèrent comme une sœur pour eux.

Pour ceux qui ont partagé ma peine de remplir cette recherche: Mon ami Lemaalem Rachida , et Étudiante universitaire mon ami Fatiha Azizi, à tous mes amis: Hanan, Souad, Amina, Rachida, wahiba, et à tous les étudiants 02 Master Physique.

KOUIDRI Wafa



Dédicace

*Pour ceux qui sont fatigués et regarder avec moi et
pour moi Il est laïque que la recherche de la connaissance
est la lumière et le culte Mon succès était leur rêve
A ma chère mère, "Khaira BEN ABBOU" et à l'esprit de mon pere
pur, que
Dieu ait pitié de lui, "Ahmed"
"Ce qui m'a encouragé et je me fichais de ses efforts
Et lui a appris tout au long des années d'étude
"Mon cher mari "Abderrahmane LAASSAB"
Je dédie aussi ce modeste travail à chacun de mes frères, "Abd-
elkader et son épouse
Nadjat kasmi , Fatima , Fatiha, Nadia, Wahiba, Amel et Le dernier
cluster Yassin"
Au mari de ma soeur et deuxiem mon pere "Abdel kader
LAASSAB"
Et les filles de mes frères Taki , Meriem , Saraa , Tkwa ,
Mohamed,
Hadjer ,Shaima ,Hadil
A mon compagnon sur le chemin "Wafaa kuidri"
et mon bien-aimé et Wahiba , Halima, Nadia, Nawal, fatiha et tous
les amis Sans exception
et à tous les parents et amis qui ont contribué avec moi et si je prie*

LEMAALEM Rachida

Table des matières

Nomenclature	
Introduction Générale	1
Chapitre I : Origine d'énergie éolien et types des éoliennes	
Introduction.....	4
I.1. Origine et types des vents	4
I.1.1. Atmosphère	4
I.1.2. Couches de l'atmosphère.....	5
a) Troposphère.....	5
b) Stratosphère.....	5
c) Mésosphère.....	5
d) Thermosphère	5
I.1.3. Couche Limite Atmosphérique.....	5
a) Couche limite de surface (CLS)	6
b) Couche limite d'Eckerman	6
I.1.4. Climat.....	7
I.1.5. Vent.....	7
a) Force Gravitationnelle	7
b) Force de Pression	8
c) Force de Coriolis	8
d) Force de frottement.....	8
I.1.6. Vents géostrophiques	8
I.1.7. Vents de surface	9
a) Brises de mer	9
b) Brises de montagne	9
I.1.8. Mesure de la vitesse du vent.....	10
I.1.9. Distribution de Weibull.....	11
I.1.10. Rose des vents.....	11
I.2. Energie éolienne	12
I.2.1. Composantes d'une éolienne	13
I.2.2. Différents types d'aérogénérateurs – caractéristiques C_p	13
c) Axe horizontal (Hawt)	14

d) Axe vertical (Vawt)	15
I.2.3. Production d'énergie éolienne	16
Conclusion	17
Chapitre II : étude de l'état initiale	
Introduction.....	18
II.1.Milieu physique	18
II.2.1. Relief.....	19
II.2.2. Climat	20
II.2.3. Vent et gisement éolien	20
II.2.Milieu Naturel.....	26
II.3.Milieu humain	26
II.3.1. Population	26
II.3.2. Agriculture	26
II.3.3. Activités Industrielles	26
Conclusion.....	27
Chapitre III : Choix des éoliennes et dimensionnement des parcs éoliens	
Introduction.....	28
III.1.Puissance et Énergie	28
III.1.1. Puissance	28
III.1.2. Estimation de l'énergie produite par un parc éolien	31
III.2.Coût de l'énergie	33
III.2.1. Coût d'investissement initial.....	33
III.2.2. Coût total actualisé.....	35
III.2.3. Coût de l'électricité du parc éolien	36
III.3.Choix des éoliennes	37
Conclusion	39
Conclusion général & perspective.....	41
Référence.....	42

Liste des figures

<i>Figure I. 1. Vue schématique de la couche atmosphérique standard.....</i>	4
<i>Figure I. 2 . Vue schématique de la couche limite atmosphérique.....</i>	6
<i>Figure I. 3 vent géostrophique</i>	8
<i>Figure I. 4 . Brises de mer.....</i>	9
<i>Figure I. 5 .brises vents de montagne.....</i>	10
<i>Figure I. 6 . Anémomètre et girouette</i>	10
<i>Figure I. 7 .Rose des vents</i>	11
<i>Figure I. 8.Composante d'une éolienne de forte puissance</i>	13
<i>Figure I. 9.Courbes caractéristiques des aérogénérateurs</i>	14
<i>Figure I. 10. Type de montage de la voileure</i>	14
<i>Figure I. 11.Courbe de la puissance éolienne en fonction de la vitesse du vent.....</i>	15
<i>Figure I. 12.Exemples des constructions VAWT</i>	16
<i>Figure I. 13.Exemples des constructions Darrieus (Darrieus de type H) et Savonius</i>	16
<i>Figure I. 14 .La puissance éolienne totale installée dans le monde</i>	17
<i>Figure II. 1. Carte des stations de mesure du vent.....</i>	19
<i>Figure II. 2.Carte relief Algérien.....</i>	19
<i>Figure II. 3 .Carte du gisement éolien Algérien</i>	21
<i>Figure II. 4 .Les courbes de Weibull et les histogrammes de fréquence, à 10m du sol.....</i>	23
<i>Figure II. 5 .Les roses des fréquences de vent pour les sites étudiés à 10m du sol</i>	24
<i>Figure III. 1.Courbes de puissances des éoliennes choisies</i>	30
<i>Figure III. 2. Planification du parc éolien</i>	32
<i>Figure III. 3. Répartition des coûts d'investissement pour un parc éolien</i>	33
<i>Figure III. 4 .Coût total actualisé (p_{vc}) et le coût de la maintenance (c_{omp}).....</i>	36
<i>Figure III. 5 .Les planifications géographiques des parcs éoliens à Adrar.</i>	37
<i>Figure III. 6 . Parc éolienne de site Adrar</i>	38
<i>Figure III. 7 . Les planifications géographiques des parcs éoliens à In Salah</i>	38
<i>Figure III. 7 .Parc éolienne de site In Salah</i>	38

Liste des tableaux

<i>Tableau II. 1 . Position géographique des stations</i>	<i>18</i>
<i>Tableau II. 2 ; Les paramètres de Weibull et la vitesse moyenne, à 10m de la sole</i>	<i>22</i>
<i>Tableau II. 3 .Les paramètres de Weibull et la vitesse moyenne par secteur, à 10m du sol</i>	<i>25</i>
<i>Tableau III. 1. Paramètres de la conception de l'éolienne standard</i>	<i>30</i>
<i>Tableau III. 2. Densité de puissance et puissance par éolienne moyenne</i>	<i>31</i>
<i>Tableau III. 3. Estimation de l'énergie produite par un parc éolien de puissance 12MW.</i>	<i>32</i>
<i>Tableau III. 4 . Coût spécifique des éoliennes.....</i>	<i>33</i>
<i>Tableau III. 5 . Coûts du parc éolien de puissance 12MW</i>	<i>34</i>
<i>Tableau III. 6 . Coûts du KWh produit par un parc éolien 12MW.</i>	<i>36</i>

Nomenclature

C	<i>Paramètre d'échelle de Weibull</i>	<i>m/s</i>
C_1	<i>Paramètre d'échelle de Weibull mesurée</i>	<i>m/s</i>
C_2	<i>Paramètre d'échelle de Weibull estimée</i>	<i>m/s</i>
C_{ci}	<i>Coût d'installation</i>	<i>\$</i>
C_e	<i>Coefficient d'efficacité de l'éolienne</i>	
C_{el}	<i>Coût de la connexion électrique</i>	<i>\$</i>
C_{en}	<i>Coût d'ingénierie les travaux civil</i>	<i>\$</i>
C_{ep}	<i>Coût du kWh produit</i>	<i>\$/kWh</i>
CF	<i>Facteur de capacité</i>	<i>%</i>
C_{misc}	<i>Coût divers</i>	<i>\$</i>
C_{om}	<i>Coût de la maintenance pour la première année</i>	<i>\$</i>
$C_{om}(p)$	<i>Coût de la maintenance pendant la durée de vie du système</i>	<i>\$</i>
C_p	<i>Coefficient de puissance</i>	
CRF	<i>Facteur d'actualisation</i>	
C_{spe}	<i>Coût spécifique</i>	<i>\$/kWh</i>
C_{st}	<i>Coût de l'étude</i>	<i>\$</i>
C_{tr}	<i>Coût du transport</i>	<i>\$</i>
C_{wt}	<i>Coût de l'éolienne</i>	<i>\$</i>
D	<i>Diamètre du rotor</i>	<i>m</i>
e_m	<i>Ratio d'escalade de l'exploitation et de l'entretien</i>	<i>%</i>
E_T	<i>Energie annuelle totale produite par un parc éolien</i>	<i>GWh</i>
E_w	<i>Energie récupérable sur une année par une éolienne</i>	<i>GWh</i>
$f(v)$	<i>Fonction de la distribution de Weibull</i>	
IC	<i>Coût d'investissement global</i>	<i>\$</i>
k	<i>Paramètre de forme de Weibull</i>	

k_1	<i>Paramètre de forme de Weibull mesurée</i>	
k_2	<i>Paramètre de forme de Weibull estimée</i>	
n	<i>Durée de vie des éoliennes a été supposée 20 ans</i>	<i>Ans</i>
N	<i>Nombre des éoliennes dans le parc</i>	
η_g	<i>Rendement de la génératrice</i>	
η_m	<i>Rendement du multiplicateur</i>	
P	<i>Puissance du vent</i>	<i>W</i>
P_e	<i>Puissance éolienne réellement utilisable</i>	<i>W</i>
P_N	<i>Puissance nominale</i>	<i>W</i>
\bar{P}	<i>Puissance moyenne d'éolienne</i>	<i>W</i>
PVC	<i>Coût total actualisé</i>	<i>\$</i>
r	<i>Taux d'actualisation</i>	
S	<i>Surface de la roue</i>	m^2
T	<i>Température</i>	$^{\circ}k$
v	<i>Vitesse du vent</i>	m/s
v_a	<i>Vitesse d'arrêt de l'éolienne</i>	m/s
v_d	<i>Vitesse de démarrage de l'éolienne</i>	m/s
\bar{v}	<i>Vitesse moyenne</i>	m/s
Z	<i>Altitude</i>	m
Z_1	<i>Hauteur de référence</i>	m
Z_2	<i>Hauteur de moyeu</i>	m
ρ	<i>Densité de l'air</i>	kg/m^3
σ_v	<i>Ecart-type</i>	m/s

Introduction Général

La consommation d'énergie, dans le courant du siècle dernier, a considérablement augmenté à cause de l'industrialisation massive. Les prévisions des besoins en énergie pour les années à venir ne font que confirmer, voir amplifier cette tendance, notamment compte tenu de l'évolution démographique et du développement de certaines zones géographiques, en particulier en Asie.

D'une part, les gisements des ressources énergétiques traditionnelles, d'origines principalement fossiles, ne peuvent être exploités que pour quelques décennies, ce qui laisse présager une situation de pénurie énergétique au niveau mondial de façon imminente. D'autre part, les déchets des centrales nucléaires posent d'autres problèmes en termes de pollution des déchets radioactifs, du démantèlement prochain des vieilles centrales et du risque industriel.

Pour subvenir aux besoins en énergie de la société actuelle, il est nécessaire de trouver des solutions adaptées et de les diversifier. Actuellement, il y a principalement deux façons possibles d'agir. La première est de diminuer la consommation des récepteurs d'énergie et augmenter la productivité des centrales énergétiques en améliorant respectivement leur efficacité. Une deuxième méthode consiste à trouver et développer de nouvelles sources d'énergie.

Dans l'immédiat, nous disposons de ressources en énergie renouvelable inépuisables, que nous sommes en mesure d'exploiter de plus en plus facilement et proprement. Néanmoins, longtemps négligées, les techniques d'extraction de la puissance de ces ressources demandent des recherches & développements plus approfondis visant à fiabiliser, baisser les coûts (de fabrication, d'usage et de recyclage) et d'augmenter l'efficacité énergétique.

De plus le niveau des émissions de gaz à effet de serre est actuellement supérieur de 14% de l'objectif prévu pour 2020 comme indiqué par le Programme des Nations Unis pour l'environnement (PNUE) .[18]

Au lieu de diminuer, la concentration des gaz à effet de serre, comme le dioxyde de carbone (CO₂), on a une augmentation dans l'atmosphère de près de 20% depuis 2000.

Si aucune mesure n'est prise rapidement, les émissions devraient atteindre 58 gigatonnes d'ici huit ans, d'après le rapport du PNUE auquel ont contribué 55 scientifiques de plus de 20 pays. Cela entraînera un écart encore plus important que celui prévu par les évaluations de 2010 et de 2011 du PNUE, suite aux prévisions de croissance économique dans les principales économies en développement.[20]

Pour cela on observe une augmentation considérable des investissements en faveur des nouvelles énergies renouvelables à l'échelle mondiale, qui s'élevaient à près de 260 milliards

de dollars en 2011. Ces sources d'énergies renouvelables participent également à la sécurité d'approvisionnement et au développement local.

De plus, elles s'inscrivent doublement dans le développement durable : d'une part, en permettant aux générations futures d'économiser des ressources fossiles épuisables et d'autre part en ne produisant ni gaz ni déchets susceptibles d'affecter le développement des générations actuelles et futures.

Les atouts de l'énergie éolienne ont été reconnus au-delà de nos frontières avec la mise en place de politiques nationales incitatives. La puissance totale d'énergie éolienne installée au niveau mondial est de 42 000 MW. Elle est en forte croissance (17 000 MW début 2001) et l'on prévoit une puissance installée de plus de 83 000 MW en 2007, essentiellement en Europe.[48]

Le choix de la zone d'étude ne doit obéir ni aux seuls critères techniques garantissant la présence d'un vent suffisant et des possibilités de raccordements routier et électrique, ni uniquement aux opportunités foncières. La zone d'étude doit être sélectionnée, dès les investigations préalables, à partir des enjeux environnementaux locaux. La démarche doit être la suivante :

- Identification des contraintes dans l'aire d'étude retenue (identification des impacts majeurs potentiels et définition des enjeux environnementaux à partir d'études préalables).
- Recherche des sites possibles d'implantation.
- Comparaison des différents sites potentiels d'implantation et identification du site offrant le plus d'avantages vis-à-vis des critères, techniques, économiques

L'objectif de notre travail est de dimensionner d'un parc éolien de 12MW dans quatre sites retenus dans le sud algérien.

Dans le premier chapitre on a fait une étude bibliographique, on s'intéresse à la source de l'énergie éolienne en donnant un aperçu de l'impact du terrain sur la nature de vent et la spécificité de climat, nous abordons aussi la structure interne d'une éolienne, puis nous expliquons comment l'énergie du vent est transformée en énergie électrique .

Nous citons et analysons l'ensemble des technologies intervenant dans le fonctionnement d'une éolienne, en passant par la construction civile des tours d'éoliennes montrant qu'une éolienne fait appel à un vaste champ de connaissances technologiques et scientifiques, et pour terminer cette partie en va citer les différents impacts préalables à l'installation d'aérogénérateurs .

Dans le deuxième chapitre on va présenter l'analyse de l'état initial des sites étudiés et de leur environnement (lieu, extension géographique, quantification). On a retenu quatre sites

dans le sud algérienne (Adrar, In Salah, Illizi et Tamanrasset) .Les caractères spécifiques (aspect remarquable, originalité, rareté) et significatifs (qualité des milieux, niveau de protection) de ces sites seront pris en considération.

L'état initial de l'environnement constitue aussi le document de référence pour apprécier les conséquences du projet sur l'environnement et la remise en état du site à la fin de l'exploitation.

Le troisième chapitre est consacré aux choix des sites et au dimensionnement des parcs éoliens. On s'est intéressé à la planification des parcs éoliens avec une puissance nominale de 12MW, en fonction des spécificités des sites favorables pour l'installation des parcs éoliens. Pour cela on a opté pour la simulation, de plus on s'est penché sur le rendement énergétique et le cout de projet pour chaque site.

Enfin nous terminons notre travail par une conclusion et des perspectives.

Chapitre I : Origine d'énergie éolienne et types des éoliennes

Introduction

La petite planète bleu et vert appelée Terre est une sphère très particulière. Tous les organismes vivants qui l'habitent se trouvent à l'intérieur d'une mince couche composée d'air, d'eau et de terre d'environ 15km d'épaisseur, qu'on appelle biosphère. La biosphère peut être divisée en trois couches : l'atmosphère (l'air), l'hydrosphère (l'eau) et la lithosphère (le sol). Toutefois, c'est l'atmosphère, à cause de ses caractéristiques particulières, qui rend la planète habitable par les êtres humains, les animaux et les plantes tels qu'on les connaît[1].

L'éolienne est un dispositif destiné à convertir l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique, elles sont généralement utilisés pour produire de l'électricité et entre dans la catégorie des énergies renouvelables[2]–[8].

Il existe deux types d'éoliennes modernes : celle qui ont un axe horizontal dont le rotor ressemble à une hélice d'avion et celle qui ont un axe vertical. Les plus courants sont celles à axe horizontal, composées d'un mât, d'un rotor, d'une nacelle, du système de régulation, et du poste de transformation moyenne tension.[9]

I.1. Origine et types des vents

I.1.1. Atmosphère

L'atmosphère est un mélange de gaz et de particules qui entourent le globe. Vue de l'espace, elle forme une fine couche de lumière bleue foncée sur l'horizon, est constituée de couches qui forment des anneaux autour de la Terre (voir la figure I.1)[10]. Elle s'étend sur quelques centaines de kilomètres d'altitude, mais elle est confinée en majeure partie sur une hauteur de 50km au-dessus de la surface terrestre.

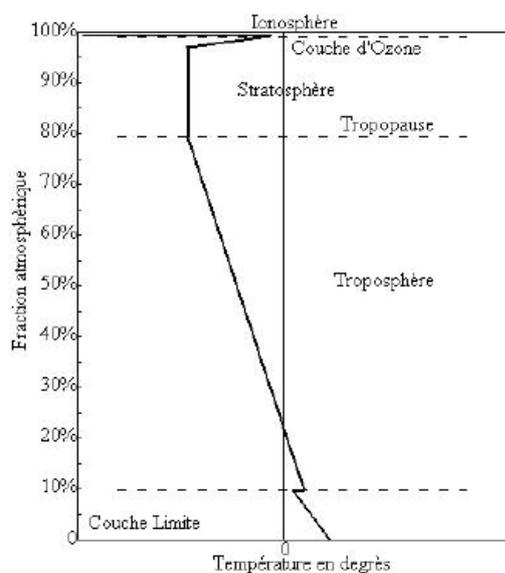


Figure I. 1. Vue schématique de la couche atmosphérique standard[11]

I.1.2. Couches de l'atmosphère

a) Troposphère

La troposphère est la couche atmosphérique la plus proche du sol terrestre. Son épaisseur est variable: 7 km de hauteur au-dessus des pôles, 18km au-dessus de l'équateur et environ 13 km, selon les saisons, dans la zone tempérée[12]

C'est dans cette couche qu'on retrouve la plus grande partie des phénomènes météorologiques. Au fur et à mesure qu'on s'élève dans la troposphère la température décroît de façon régulière d'environ 6 degrés Celsius tous les 1000m pour atteindre -56 °C à la tropopause (zone séparant la troposphère de la stratosphère). L'air près du sol est plus chaud qu'en altitude car la surface réchauffe cette couche d'air[13].

b) Stratosphère

La stratosphère est au-dessus de la troposphère. C'est dans la stratosphère qu'on trouve la couche d'ozone. Cette dernière est essentielle à la vie sur Terre, car elle absorbe la majorité des rayons solaires ultraviolets qui sont extrêmement nocifs pour tout être vivant. Cette absorption provoque un dégagement d'énergie sous forme de chaleur. C'est pourquoi la température augmente lorsqu'on s'élève dans la stratosphère[14].

Les mouvements de l'air y sont beaucoup moindres. Il s'agit d'un environnement beaucoup plus calme. La stratopause sépare la stratosphère de la mésosphère.

c) Mésosphère

La mésosphère est au-dessus de la stratosphère. Dans cette couche, la température recommence à décroître avec l'altitude pour atteindre -80 °C à une altitude d'environ 80km[6].

Les poussières et particules qui proviennent de l'espace (les météores) s'enflamment lorsqu'elles entrent dans la mésosphère à cause de la friction de l'air. Ce phénomène nous apparaît sous la forme « d'étoiles filantes ».

d) Thermosphère

La couche la plus haute est la thermosphère. Dans cette couche se trouve la région où près des pôles se forment les aurores boréales et australes. La température augmente avec l'altitude et peut atteindre environ 100 degrés Celsius. La thermosphère atteint des milliers de kilomètres d'altitude et disparaît graduellement dans l'espace. La thermosphère devient presque nulle et les molécules d'air sont très rares[15].

La partie inférieure de la thermosphère est appelée l'ionosphère. L'ionosphère réfléchit les ondes courtes (ondes radio). Ces ondes, émises par un émetteur, rebondissent sur l'ionosphère et sont renvoyées vers la Terre. Si elles sont retournées avec un certain angle, elles peuvent faire presque le tour du globe. L'ionosphère permet donc de communiquer avec des régions très éloignées.

I.1.3. Couche Limite Atmosphérique

La couche limite atmosphérique, dont l'épaisseur est d'environ 1000m, est la couche qui contient 10% du recouvrement de la masse d'air totale et où le déplacement d'air est régi par

le gradient de pression. Elle est contrôlée et modifiée partiellement par le frottement aérodynamique de la surface et par l'importance de la stratification de la densité d'air qui résulte des différences de températures entre la surface du sol et l'air ambiant. Elle est fonction de plusieurs paramètres, tel que :

- La vitesse du vent ;
- La rugosité des sols ;
- L'ensoleillement variable suivant les lieux et l'heure de la journée.

Près de la surface terrestre, la présence du sol perturbe l'écoulement de l'air et crée une forte turbulence (vent) alors que dans l'atmosphère libre, l'air sous l'action des forces de pression et de Coriolis est uniforme, horizontal et sa vitesse est constante (vent géostrophique). La couche limite atmosphérique (CLA), peut être divisée en deux sous couches, (voir figure I.2), à savoir la couche limite de surface (CLS) et la Couche limite d'Eckerman.

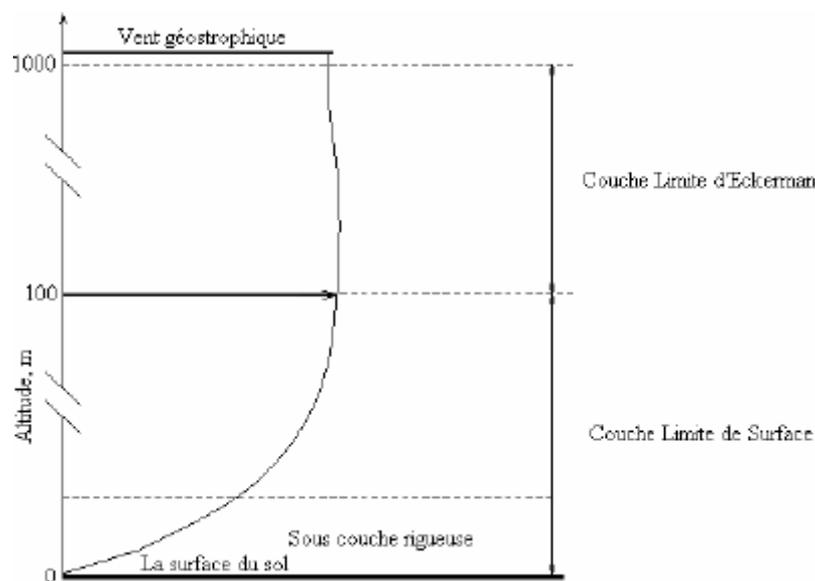


Figure I. 2 . Vue schématique de la couche limite atmosphérique[16]

a) Couche limite de surface (CLS)

Cette couche dont l'épaisseur varie entre 50 et 100m, est la partie basse de la CLA, elle est en contact direct avec la surface terrestre. Dans cette région, les effets de la force de Coriolis sont négligeables devant les effets dynamiques engendrés par les frottements au sol ainsi que par la stratification thermique de l'air. Elle peut être départagée en deux sous couches[17] :

- Une sous-couche inférieure située au-dessus du sol où les forces de frottement sont prédominantes, par rapport à la stratification thermique de l'air, dans ce cas, le mouvement de l'air est turbulent et est directement lié à la rugosité du sol ;
- La seconde sous couche se situe juste au-dessus de la première, où les effets de frottement y sont négligeables devant la stratification thermique de l'air.

b) Couche limite d'Eckerman

La couche limite d'Eckerman est la partie supérieure de la couche limite atmosphérique

Le vent est alors influencé par le frottement au sol, la stratification thermique de l'air et la force de Coriolis.

Avec l'altitude, les forces de frottement deviennent négligeables devant l'effet de la force de Coriolis, jusqu'à atteindre le vent géostrophique[16].

I.1.4. Climat

D'année en année, on observe normalement à chaque endroit sur Terre un ensemble particulier et assez régulier de conditions météorologiques. Il y a des variations, mais l'ensoleillement, la quantité de précipitations, la gamme des températures et d'autres aspects du temps sont généralement comparables d'une année à l'autre. Ce sont ces conditions météorologiques moyennes qu'on appelle le climat. Toutefois, pour déterminer le climat, on tient également compte des conditions extrêmes et exceptionnelles, des anomalies et de la variabilité. Le climat est souvent assimilé aux « conditions météorologiques moyennes » observées pendant plusieurs années.

Le climat terrestre varie de façon naturelle. Au fil des siècles et des millénaires, les cycles naturels du climat ont été marqués par des périodes de réchauffement et de refroidissement. Le climat exerce une influence sur l'ensemble des plantes et des animaux. Pour l'être humain, il détermine le choix des milieux et des modes de vie et influe sur la croissance et le bien-être.

Le climat et le temps sont deux notions différentes. Le temps, c'est l'état de l'atmosphère défini par les éléments météorologiques - la température, les précipitations (la pluie, la neige, etc.), l'humidité, l'ensoleillement et le vent - à un endroit précis.[19]

Le climat, c'est l'ensemble des phénomènes météorologiques observés dans le passé et qu'on s'attend d'observer encore sur une longue période. La description du climat d'un endroit donné comprend les valeurs moyennes et les valeurs extrêmes d'éléments comme la température et les précipitations consignées dans les registres d'observation météorologique[21]–[23].

I.1.5. Vent

L'air dont se compose l'atmosphère, exerce sur la terre une pression, appelée pression atmosphérique. Sur la surface de la terre, la pression atmosphérique n'est pas la même partout.

Il existe des secteurs où règnent une basse pression et des secteurs où règne une haute pression. L'air froid, plus lourd, descend, créant une zone de haute pression (HP). Inversement, l'air chaud, plus léger, monte naturellement dans les couches hautes de l'atmosphère avec pour conséquence la création d'une zone de basse pression (BP). La différence de pression entre ces deux masses d'air est à l'origine du vent[24].

Pour un observateur à l'arrêt par rapport au sol, il existe quatre forces majeures qui agissent sur une partie élémentaire d'air :

- La force gravitationnelle.
- La force due au gradient de pression.
- La force de Coriolis
- La force de frottement.

a) Force Gravitationnelle

Elle est la 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[25].

b) Force de Pression

Dirigées des hautes pressions vers les basses pressions ces forces sont des gradient de pression résultant de l'échauffement inégal de l'air suivant les latitudes, nature des sols et la répartition des océans et des continents. Ces forces contribuent à mettre l'air en mouvement[26].

c) Force de Coriolis

Cette force est le résultat de la rotation de la terre autour de son axe et est perpendiculaire à la vitesse du vent. Elle intervient dans les déplacements atmosphériques en raison de la faiblesse des forces contribuant à mettre l'air en mouvement[27].

d) Force de frottement

Ces forces traduisent la friction turbulente de l'air avec le sol. Elles interviennent dans la couche limite atmosphérique. La force gravitationnelle et la force du gradient de la pression sont les deux forces qui peuvent initier un mouvement de l'air. Leurs actions se font ressentir près du sol dans une zone appelée couche limite atmosphérique[28].

I.1.6. Vents géostrophiques

Le vent géostrophique découvert par le mathématicien physicien français Pierre Simon Laplace (1749-1827), On les appelle aussi les vents globaux, produit d'écart de température et des variations de pression. Car Le soleil réchauffe les régions situées autour de l'équateur, à latitude 0, bien plus qu'il ne réchauffe les autres parties du globe. Ayant une densité plus faible que l'air froid, l'air chaud s'élève jusqu'à une altitude d'environ 10km. Ensuite il s'étend vers le nord et le sud. Si la terre ne tournait pas, les courants d'air iraient jusqu'aux pôles Nord et Sud avant de redescendre (suite au refroidissement) et de retourner à l'équateur mais L'air s'élève à l'équateur, s'étendant vers le nord et le sud dans la haute atmosphère (voir la figure I.3)[29], [30].

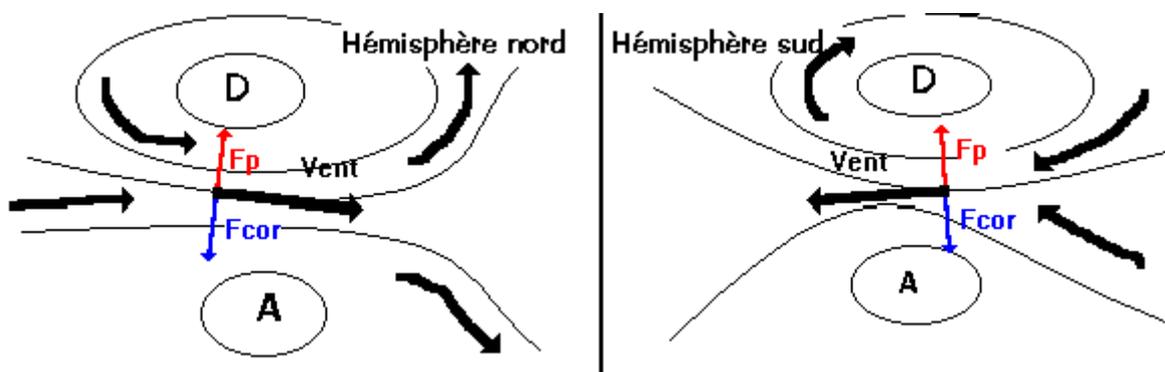


Figure I. 3 vent géostrophique[31]

Dans les deux hémisphères, à approximativement 30 degrés de latitude, la force de Coriolis empêche les courants d'air d'aller beaucoup plus loin. L'air commençant de

redescendre à cette latitude, il se crée une zone de haute pression (appelée aussi un anticyclone).

Lorsque l'air s'élève à l'équateur, il se crée au niveau du sol une zone de basse pression attirant des masses d'air du nord et du sud. Aux deux pôles, des anticyclones se produisent suite au refroidissement de l'air retenant la force de Coriolis.

I.1.7. Vents de surface

Jusqu'à environ 100m de hauteur, l'influence de la surface du sol sur les vents est importante. Ainsi, comme nous allons voir par la suite, la rugosité du terrain ainsi que les obstacles naturels ou artificiels peuvent freiner les vents. A cause de la rotation de la terre, les directions des vents près de la surface diffèrent également un peu de celles des vents géostrophiques (cf. la force de Coriolis)[32].

En matière d'énergie éolienne, ce sont les vents de surface et leur capacité énergétique qui présentent le plus grand intérêt.

a) Brises de mer

En cours de journée, la terre se réchauffe plus rapidement que la mer, ce qui provoque un soulèvement de l'air chaud qui s'étend ensuite vers la mer. Ainsi, une dépression se crée près de la surface de la terre, attirant l'air froid provenant de la mer. On parle alors d'une brise de mer (voir figure I.4)[33].

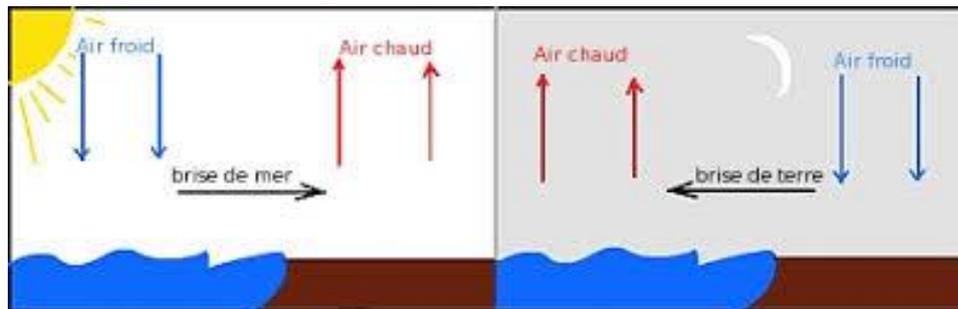


Figure I. 4 . Brises de mer[34]

Au crépuscule, il se produit souvent une période calme, les températures sur terre et sur mer étant plus au moins égales.

La nuit venue, le vent commence à souffler dans le sens inverse. En général, la vitesse de cette brise de terre est moins forte que celle de la brise de mer étant donné que la différence de température entre la terre et la mer est moins importante la nuit.

La mousson qui souffle en Asie du Sud-est est en effet une brise de mer alternant avec une brise de terre à grande échelle, sa direction variant en fonction des saisons, et se produisant parce que la terre se réchauffe ou se refroidit beaucoup plus vite que la mer.

b) Brises de montagne

Les régions montagneuses donnent naissance à beaucoup de phénomènes climatologiques intéressants. La brise de vallée en est un exemple. Elle se produit sur les versants exposés au sud dans l'hémisphère Nord (au nord dans l'hémisphère Sud)[35]. Le réchauffement des versants et de l'air avoisinant fait tomber la densité de l'air. En conséquence, l'air commence à s'élever vers le sommet de la montagne, produisant ce que l'on

appelle une brise montante. La nuit, le phénomène s'inverse et une brise descendante se produit.

Si le creux d'une vallée est en pente, on peut observer l'effet dit de canyon, les vents montant et descendant le long des versants qui entourent la vallée (voir figure I.5).

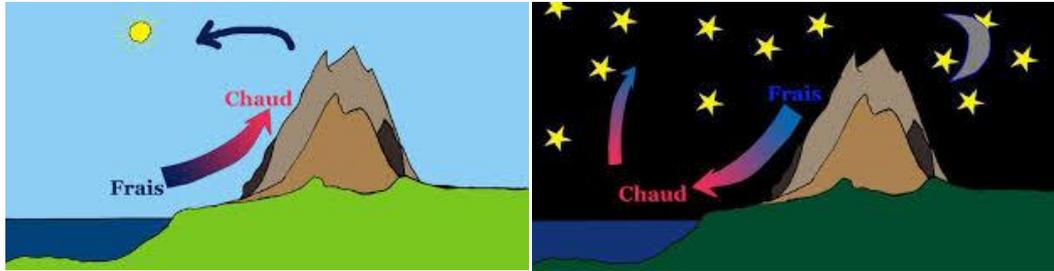


Figure I.5 .brises vents de montagne[36]

Les vents s'écoulant le long des versants des montagnes peuvent être très violents. Comme exemple, on peut citer le Sirocco soufflant du Sud de Sahara vers la Méditerranée ainsi que le phénomène de Foehn que l'on trouve dans les Alpes.

D'autres exemples de systèmes de vents locaux sont le Mistral qui pénètre dans la vallée du Rhône pour s'étendre ensuite vers la mer Méditerranée

I.1.8. Mesure de la vitesse du vent

La mesure de la vitesse du vent se fait le plus souvent par l'emploi d'un anémomètre à coupelles. Un tel anémomètre est muni d'un rotor de trois coupelles qui, sous l'effet du vent, se met à tourner autour d'un axe vertical. La vitesse de rotation est enregistrée électroniquement.

En général, l'anémomètre est également doté d'une girouette indiquant la direction du vent. Au lieu de coupelles, l'anémomètre peut être muni d'une hélice, une solution qui est cependant assez rare.



Figure I.6 . Anémomètre et girouette[37]

I.1.9. Distribution de Weibull

Divers modèle de distribution statistique, notamment le modèle log-normal, la distribution gaussienne bivariate ont été appliqués pour caractériser la distribution de probabilité de la vitesse moyenne du vent. Toutefois, le modèle le plus utilisé est celui de la distribution de Weibull qui s'avère approprié à la représentation des propriétés statistiques du vent (Keller,1992). La forme mathématique de la distribution de Weibull est [38]–[47] :

$$f(v) = \frac{k}{C} \left(\frac{v}{C}\right)^{k-1} \exp\left(-\left(\frac{v}{C}\right)^k\right) \quad (1.1)$$

Où C est paramètre d'échelle et k est paramètre de forme.

I.1.10. 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 [1] :

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

Plus la valeur est importante, plus le secteur est représenté par un grand rayon depuis le centre de la rose

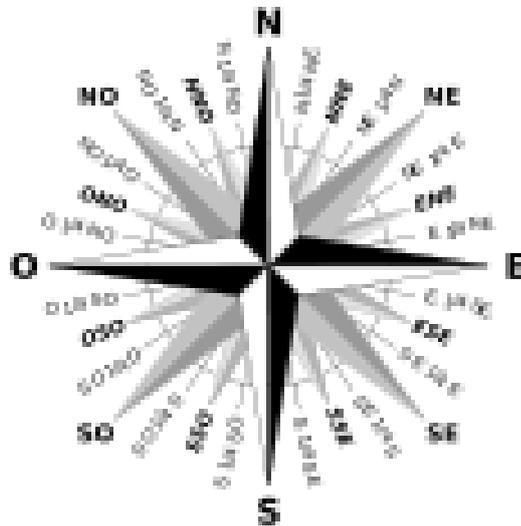


Figure I. 7 .Rose des vents [48]

Les roses des vents diffèrent d'une région à une autre. Elles constituent en fait une sorte d'empreinte climatologique.

Cependant, les roses des vents pour deux régions avoisinantes sont souvent très similaires. Pour cette raison, ce sera souvent suffisamment sûr de déterminer les directions du vent en interpolant les roses établies pour les villes voisines ; c.-à-d. en prenant la moyenne

des résultats enregistrés. Cependant, de telles estimations s'avéreront souvent insuffisantes s'il s'agit de terrains complexes (régions montagneuses et côtières, entre autres).

Dans tous les cas, la rose des vents indique la distribution relative des directions du vent - et non pas la vitesse réelle du vent. Afin de mesurer celle-ci il faut se servir d'un anémomètre.

I.2. Energie éolienne

La première source d'énergie est le rayonnement solaire et la plupart des autres en découlent plus ou moins directement (vents, cycle de l'eau et marées, fabrication de biomasse, géothermie de surface, etc.), La seconde est l'énergie terrestre (géothermie profonde) et la troisième est la lune qui influe sur le cycle des marées.

Il y a bien longtemps que les hommes ont inventés des moyens pour exploiter les vents ; on a trouvé chez les Perses, des roues à aubes que le vent faisait tourner, datant du VIIe siècle. Les premiers moulins à vents en Europe apparaissent dans le courant du XIIIe siècle avec le retour des Croisés, qui les ramèneront de leurs voyages en Orient. Ces étranges machines tournantes permettaient de remplacer les animaux et fut même un instrument de libération pour certains paysans, car les seigneurs taxaient l'utilisation des rivières qui coulaient sur leur terres.

Outre que le meulage du grain et l'irrigation des terres agricoles, les moulins à vents construits entre le XVe et le XIXe siècle étaient adaptés à un grand nombre de tâches, allant du pompage de l'eau de mer, au sciage du bois, en passant par la fabrication du papier et de l'huile ou encore le meulage de différents matériaux. Au XIXe siècle, les Hollandais, comme les britanniques avaient déjà construit plusieurs milliers de moulins à vent

En 1890, les premières éoliennes produisant de l'électricité sont construites au Danemark. De petits générateurs à turbine éolienne fournissent l'électricité aux petites communautés rurales jusque dans les années 1930, alors que les lignes électriques commencent à sillonner le pays. On abandonne alors les éoliennes à axe vertical qui ont un rendement inférieur aux éoliennes à axes horizontales. De grandes turbines éoliennes furent également construites à cette époque.

Ces éoliennes resteront cependant au stade de prototypes car elles ne parviennent pas à concurrencer économiquement les combustibles fossiles tels le charbon ou le pétrole, durant la révolution industrielle.

En Octobre 1973 se produit un événement majeur dans l'histoire de l'énergie éolienne, mais aussi pour l'ensemble du secteur des sources d'énergie renouvelables.

En représailles au déclenchement de la guerre du Yom Kippour, les pays arabes exportateurs de pétrole décident de réduire considérablement leurs exportations. Les cours de l'or noir atteignent rapidement des sommets. L'Europe et les Etats-Unis réagissent et lancent des programmes de développement de l'énergie renouvelable. Ce sont alors les américains qui dominent la recherche.

Ce sont les colons espagnols qui introduisent les premiers moulins à vent dans le nouveau monde au XVIe siècle.

En 1974, un plan d'action étalé sur 5 ans se focalise essentiellement sur la recherche et le développement de prototypes de générateurs éoliens de grandes puissances. De grandes

firmes appartenant à la puissante industrie aéronautique américaine (tels que Boeing, Lockheed, Grumman, ...) vont se charger du développement de ces prototypes[49], [50].

I.2.1. Composantes d'une éolienne

Une installation est généralement constituée d'une éolienne, d'une tour avec de solides fondations et d'un ensemble d'équipements électriques pour le stockage de l'énergie produite ou pour gérer la connexion avec le réseau électrique local. La figure (I.8) présente les composantes d'une éolienne.

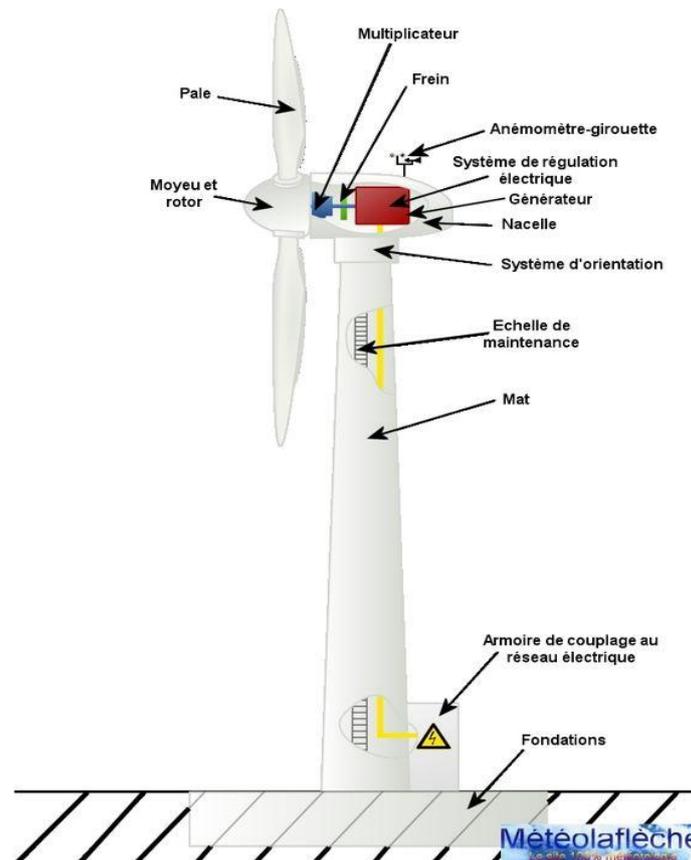


Figure I. 8. Composante d'une éolienne de forte puissance [51]

L'éolienne est pour sa part, composée d'un rotor bi ou tri pale, bien souvent à axe horizontal, d'une génératrice à courant continu ou d'un alternateur et d'une nacelle qui permet de fixer et supporter le rotor et la génératrice.

Dans certains cas, l'éolienne peut contenir un boîtier multiplicateur à engrenages pour relier le rotor et la génératrice, un empennage qui permet de l'orienter dans le vent, un système de contrôle du calage des pales pour optimiser la puissance.

I.2.2. Différents types d'aérogénérateurs – caractéristiques C_p

Deux familles d'éolienne existent : les aérogénérateurs à axe vertical (VAWT) et à axe horizontal (HAWT). Le graphique de la Figure I.9 donne une vue sur les coefficients de puissance C_p habituels en fonction de la vitesse spécifique, λ pour différents types d'éoliennes.

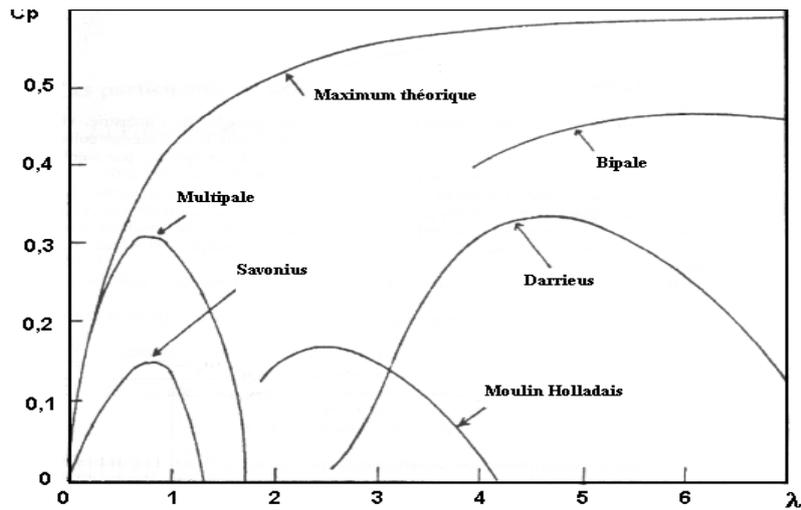


Figure I. 9. Courbes caractéristiques des aérogénérateurs [52]

a) Axe horizontal (Hawt)

Les voilures à axe horizontal sont de loin les plus utilisées actuellement. Les différentes constructions des aérogénérateurs utilisent les voilures à deux, trois pales (les plus courantes) et les multiples. La caractéristique de puissance $C_p(\lambda)$ dépend principalement du nombre de pales comme le montre la Figure 2-8 et des propriétés aérodynamiques de la voilure (coefficient de poussée C_F , coefficient de couple C_M ...)[53].

La voilure peut être placée avant la nacelle (upwind) et alors un système mécanique d'orientation de la surface active de l'éolienne « face au vent » est nécessaire. Une autre solution qui permet d'alléger la construction par la suppression de toute mécanique d'orientation est l'emplacement de la turbine derrière la nacelle (downwind).

Dans ce cas la turbine se place automatiquement face au vent. Les éoliennes de ce type sont assez rares car des vibrations importantes sont dues au passage des pales derrière le mat. La Figure I.10 montre les deux procédés.

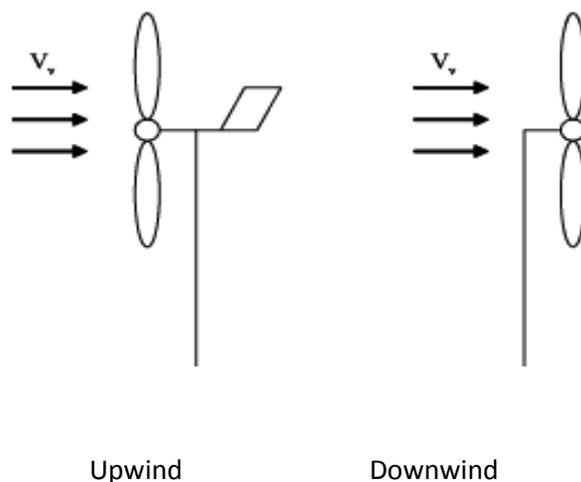


Figure I. 10. Type de montage de la voilure[52]

La Figure I.11 donne la courbe de puissance d'une éolienne en fonction de la vitesse du vent. Après une partie (A) où aucune puissance n'est délivrée pour des vitesses du vent inférieures à la vitesse de démarrage V_{\min} une section de fonctionnement normal existe.

Si on extrait alors la puissance maximale de la turbine (MPPT) celle-ci évolue alors selon le cube de la vitesse du vent (B). Quand la puissance nominale P_n est atteinte, elle doit être limitée (C). Au-delà d'une certaine limite de vitesse du vent la turbine doit être arrêtée.

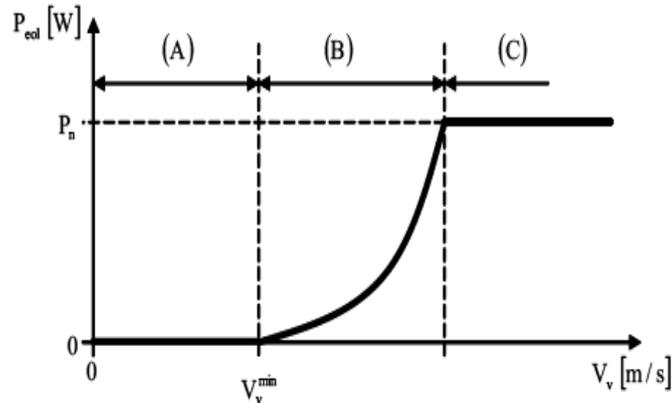


Figure I. 11. Courbe de la puissance éolienne en fonction de la vitesse du vent [52]

Il existe quatre voies principales pour limiter la puissance éolienne dans le cas de fortes valeurs du vent. La première est une technique active assez coûteuse et complexe appelée système à pas variable « pitch » : elle est donc plutôt utilisée sur les systèmes à vitesse variable de moyenne à fortes puissances (quelques centaines de kW). Elle consiste à régler mécaniquement la position angulaire des pales sur leur axe ce qui permet de décaler dynamiquement la courbe du coefficient de puissance de la voilure. La seconde technique est passive « stall ». Elle consiste à concevoir la forme des pales pour obtenir un décrochage dynamique du flux d'air des pales à fort régime de vent.

Il existe aussi des combinaisons des deux technologies précédemment citées. La troisième façon de limiter la puissance est la déviation de l'axe du rotor dans le plan vertical (un basculement de la nacelle) ou une déviation dans le plan horizontal (rotation autour de l'axe du mat). Ainsi, la turbine n'est plus face au vent et la surface active de l'éolienne diminue.

b) Axe vertical (Vawt)

Une autre famille d'éoliennes est basée sur les voilures à l'axe vertical. Ce type d'éoliennes est très peu répandu et assez mal connu. Cependant, elles peuvent avoir un intérêt dans certains secteurs d'application. Il existe principalement trois technologies Vawt (Vertical Axis Wind turbine) : les turbines Darrieus classique ou à pales droites (H-type) et la turbine de type Savonius, comme montré à la figure I.12 et la figure I.13.

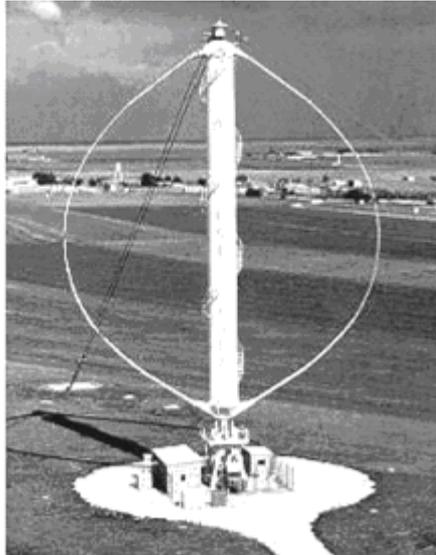


Figure I. 12.Exemples des constructions VAWT



Figure I. 13.Exemples des constructions Darrieus (Darrieus de type H) et Savonius [52]

I.2.3. Production d'énergie éolienne

La capacité de production électrique totale installée dans le monde à passe de 7 .48GW en 1997 à 439.19 GW en 2015, soit une multiplication par plus de 58 fois en 18 ans et une augmentation de 17% sur la dernière année (de 2014 à 2015) [54], [55]. La puissance éolienne totale installée dans le monde est représentée dans la Figure I.14.

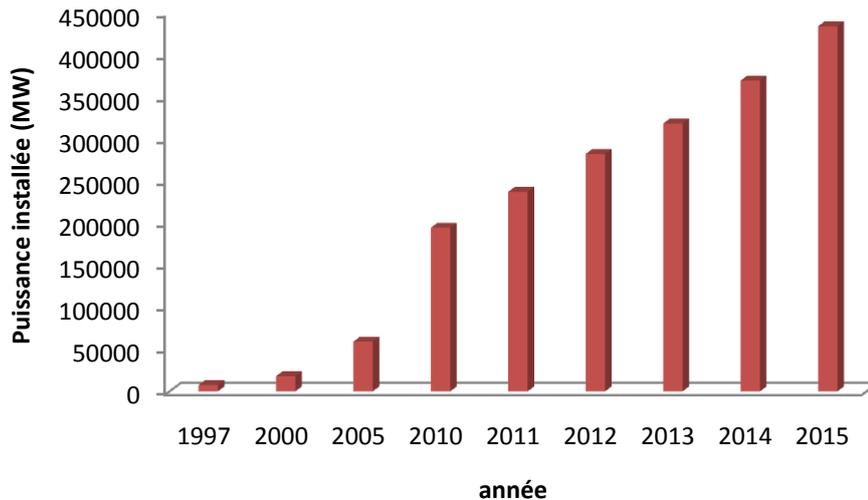


Figure I. 14 .La puissance éolienne totale installée dans le monde [54]

En ce qui concerne les pays du Maghreb, ils ont commencé à exploiter l'énergie éolienne et la totale installée aux trois pays Maroc, Tunisie et l'Algérie compte respectivement 787MW, 245MW et 10MW[54], [55].

L'Algérie s'engage avec détermination sur la voie des énergies renouvelables afin d'apporter des solutions globales et durables aux défis environnementaux et aux problématiques de préservation des ressources énergétiques d'origine fossile.

Ce choix stratégique est motivé par l'immense potentiel en énergie solaire. Cette énergie constitue l'axe majeur du programme de développement des énergies renouvelables qui consacre au solaire thermique et au solaire photovoltaïque une part essentielle.

Ce programme n'exclut pas l'éolien qui constitue le second axe de développement et dont la part programmé est de 3% de la production d'électricité en 2030 [54], [55].

Conclusion

Le vent est un mouvement de l'atmosphère. Ces mouvements de masses d'air sont provoqués par deux phénomènes se produisant simultanément : un réchauffement inégalement réparti de la surface de la planète par l'énergie solaire et la rotation de la planète. Sur Terre, plusieurs régions ont des vents caractéristiques auxquels les populations locales ont données des noms particuliers.

L'éolienne transforme grâce à ses pâles l'énergie du vent en énergie mécanique puis grâce au contenu de la nacelle (modulateur, multiplicateur, générateur) en énergie électrique.

Il existe deux types d'éolienne, les aérogénérateurs à axe vertical (VAWT) et à axe horizontal (HAWT).

La capacité de production électrique totale installée dans le monde à passe de 7 .48GW en 1997 à 439.19 GW en 2015, soit une multiplication par plus de 58 fois en 18 ans et une augmentation de 17% sur la dernière année (de 2014 à 2015).

Chapitre II :

Etude de

l'état initiale

Introduction

Pour l'étude de l'état initiale, nous voulons d'écrire de manier plus détaillé. Une analyse de l'état initial de la zone et des milieux susceptibles d'être affectés par le projet, portant notamment sur la population, la faune et la flore, les habitats naturels, les sites et paysages, les biens matériels[56]

L'objectif de l'analyse de l'état initial du site est de disposer d'un état de référence de l'environnement physique, naturel et humain du site avant l'installation du projet. Il doit fournir des données suffisantes pour identifier, évaluer et hiérarchiser les effets possibles du parc éolien[54].

II.1.Milieu physique

Notre étude porte sur la région saharien (sud Algérien), où nous avons choisi quatre site Adrar, In Salah, Illizi et Tamanrasset. Ces choix sont justifiés par la disponibilité des bases des données de fréquence des vitesses et directions du vent sur une période de dix ans, de plus ces derniers sont parmi les régions plus ventées en Algérie. Les détails des sites étudiées sont récapitulés dans le tableau II.1 et les positions géographiques de ces stations sont données dans la figure II.1

Tableau II. 1 . Position géographique des stations

Site	Latitude	Longitude	Altitude
Adrar	27.88°N	0.28° W	263 m
In Salah	27.25°N	2.51°E	269 m
Illizi	26,28°N	8,28 E	556 m
Tamanrasset	23,45 °N	4, 40 E	1 400 m

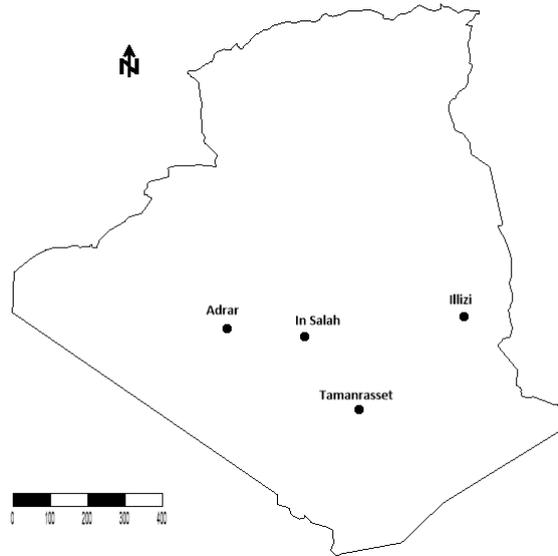


Figure II. 1. Carte des stations de mesure du vent

II.2.1. Relief

Les formes de relief dans notre zone d'étude, sont particulièrement nettes et visibles[54]. Les reliefs de notre sites étudiés sont représentés dans figure II. 2.

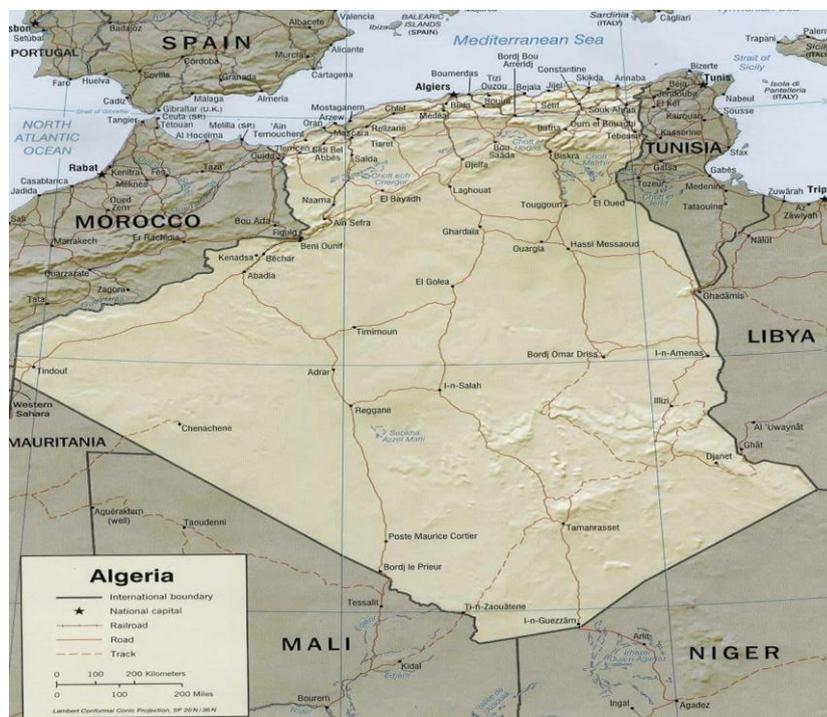


Figure II. 2. Carte relief Algérien[57]

Le site de Tamanrasset est le chef-lieu de la wilaya. Située dans le centre du Hoggar, à 1 400 mètres d'altitude, La géomorphologie de la région distingue le plateau du Tidikelt au nord, recouvert de sable et au climat très rude et le Hoggar (Ahaggar) au sud, massif montagneux où les températures sont plus clémentes. La wilaya abrite le plus haut sommet d'Algérie, le mont Tahat à 3 003 m d'altitude situé dans le massif montagneux du Hoggar[58].

Le site Adrar située dans la wilaya d'Adrar aux Sud- Ouest de l'Algérie, Elle est limitée au Nord par le Grand Erg Occidental, au Sud par le plateau de Tanezrouft, à l'Est par le plateau de Tademaït et à l'Ouest par l'Erg Chech [59], [60].

Ain Salah appartiennent au plateau de Tademaït, qui est formé une immense Hamada pierreuse[61].

La wilaya d'Illizi se caractérise par deux principales zones géographiques, la partie nord est occupée par le Grand Erg Oriental et la Hamada de Tinhert au sud se trouve le Tassili n'Ajjer[62].

II.2.2. Climat

Le climat du Sahara est chaud, ensoleillé et aride. Il est caractéristique de celui d'un désert chaud, situé de part et d'autre d'un tropique, l'Ahaggar subi l'influence de deux régimes climatiques. Le régime tempéré (méditerranéen) et le régime tropical (soudanais). Le premier, traverse la région entre novembre et février, il est associé à des dépressions appartenant au courant du front polaire (F.P). Le second (a mousson soudanaise) lié au front intertropical (FIT) est perçu dès le mois de mai jusqu'en septembre. La pluviométrie en cette période est représentée par une moyenne de 70% du total annuel. Ces pluies sont orageuses et de courte durée[63].

Les températures diurnes sont très élevées, pouvant dépasser 50°C, et l'amplitude thermique entre le jour et la nuit est souvent supérieure à 35 ou 40° C.

Le climat revêt une importance majeure pour la flore. En effet, il conditionne la vie végétal depuis la germination jusqu'à la fructification[64].

II.2.3. Vent et gisement éolien

Des travaux sur le gisement éolien, montre qu'en Algérie il y a beaucoup des sites qui ont un très bon potentiel éolien, ce qui permet d'envisager l'installation des parcs éoliens dans le pays. En particulier, nous pouvons citer le travail de F .Chellali (2011)[65] ont contribué à l'actualisation de la carte des vents de l'Algérie

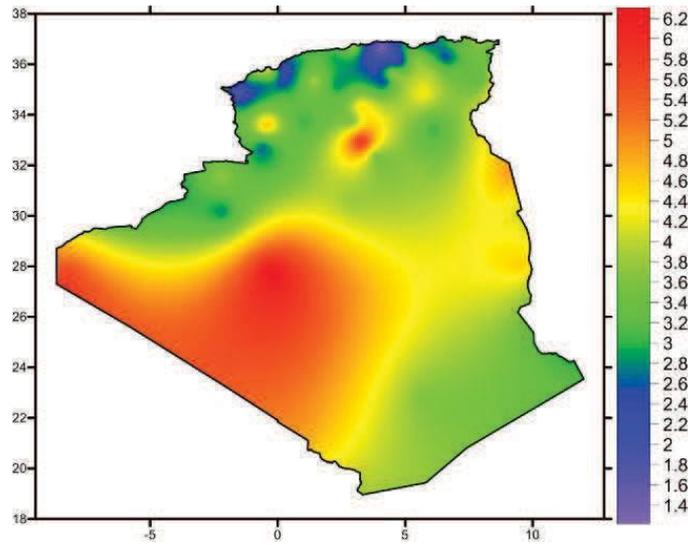


Figure II. 3 .Carte du gisement éolien Algérien [66]

A partir des données du vent (vitesse et direction) collectées dans les stations météorologiques des sites étudiée, on s'est intéressé principalement aux vitesses moyennes annuelles des vents à 10 m du sol .L'étude statistique est basée sur le traitement des données horaires collectées pendant les derniers dix années pour les divers sites retenus.

La distribution statistique de Weibull est appropriée pour l'étude de la distribution des vitesses de vent. La fonction Weibull peut être écrite comme suit [38]–[41], [43], [44], [67]–[69]:

$$f(v) = \frac{k}{C} \left(\frac{v}{c} \right)^{k-1} \exp \left(- \left(\frac{v}{C} \right)^k \right) \quad (2.1)$$

Nous avons choisi la méthode de l'écart type pour la détermination du paramètre forme (k), elle se base sur le calcul de vitesses moyenne de vent \bar{v} et écart-type σ_v [68] :

$$k = \left(\frac{\sigma_v}{\bar{v}} \right)^{-1.090} \quad (2.2)$$

Le paramètre d'échelle (C), peut être déduire à partir de l'équation suivant[55]:

$$C = \frac{\bar{v}}{\Gamma \left(1 + \frac{1}{k} \right)} \quad (2.3)$$

On a calculé les paramètres de Weibull et la vitesse moyenne pour les quatre sites étudiés à 10m du sol, puis on a tracé les courbes de Weibull avec les histogrammes de fréquence, à 10m du sol (voir tableau II. 2 et la figure II. 6).

Tableau II. 2 . Les paramètres de Weibull et la vitesse moyenne, à 10m de la sole

Site	C (m/s)	K	\bar{v} (m/s)
Adrar	6,3	2,12	5,5
In Salah	6	2,48	5,3
Illizi	4,6	1,80	4,1
Tamanrasset	5,1	2,00	4,5

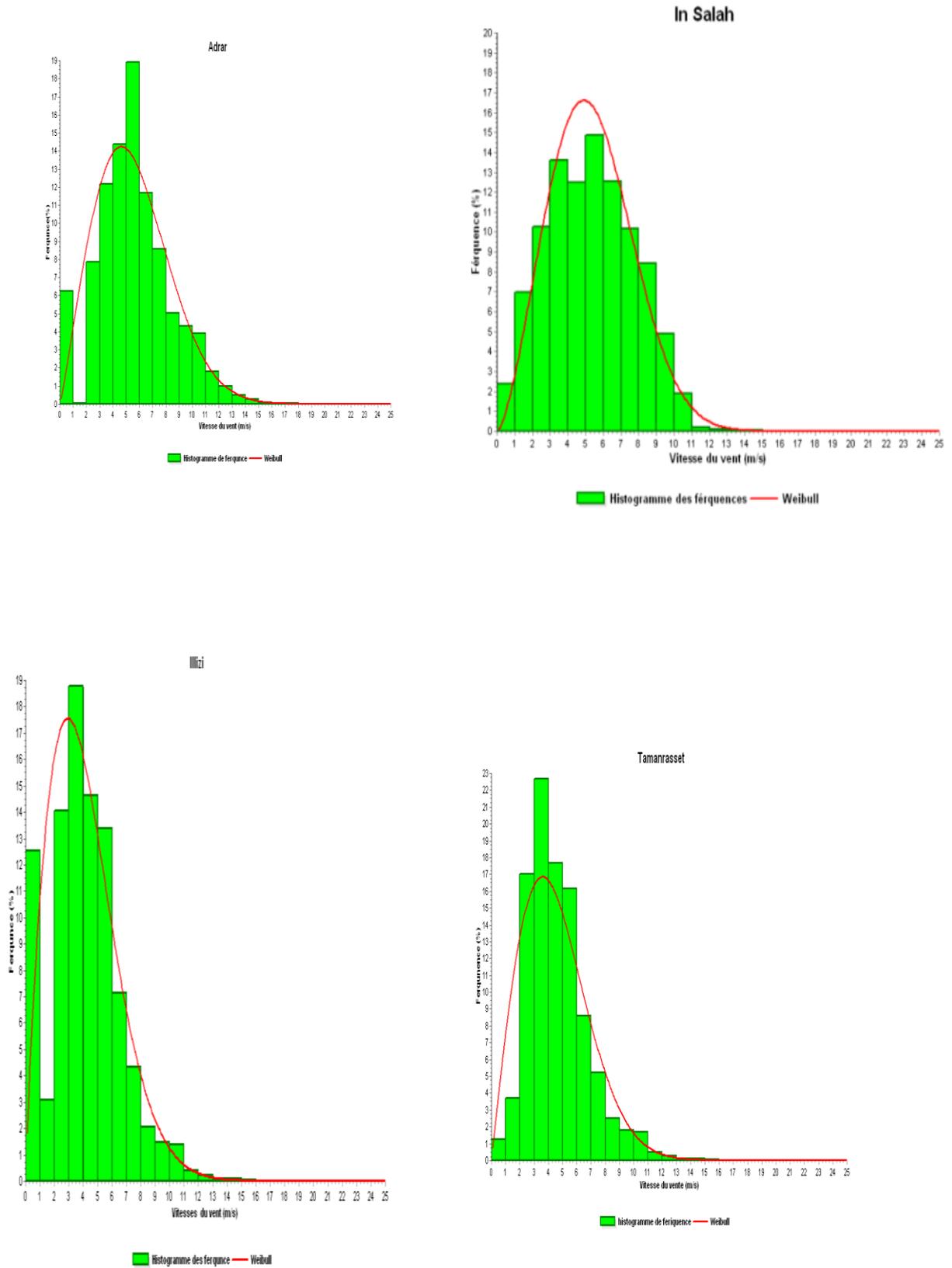


Figure II. 4 .Les courbes de Weibull et les histogrammes de fréquence, à 10m du sol

On peut observer la valeur du paramètre de forme k , que 2.0 en région de Tamanrasset et 2,12 en site d'Adrar et 2,48 (Ain Salah), cela signifie que toutes les distributions sont stables. Le paramètre d'échelle C varie de 5,1 m/s à 6.3 m/s et la vitesse moyenne \bar{v} varie de 4.5 m/s à 5.5 m/s, cela signifie que ces sites sont des sites ventés.

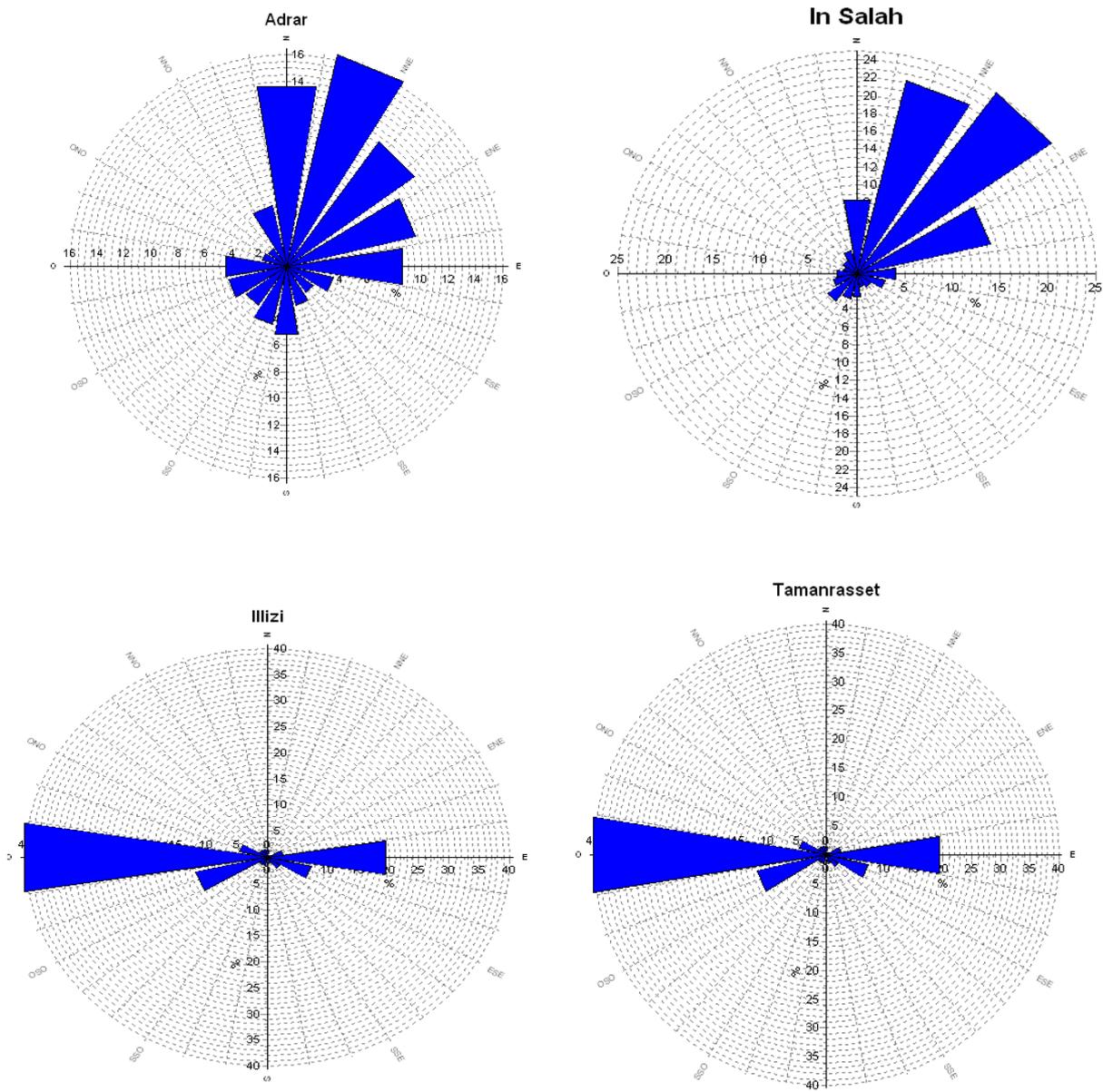


Figure II. 5 .Les roses des fréquences de vent pour les sites étudiés à 10m du sol

Tableau II. 3 .Les paramètres de Weibull et la vitesse moyenne par secteur, à 10m du sol

Secteur	Adrar			In Salah				Illizi				Tamanrasset				
	C (m/s)	k	F (%)	\bar{v} (m/s)	C (m/s)	k	F (%)	\bar{v} (m/s)	C (m/s)	K	F (%)	\bar{v} (m/s)	C (m/s)	k	F (%)	\bar{v} (m/s)
N	6	1,96	14	5,3	7.0	2.96	8	6.2	5,3	3.09	1.4	4.7	5.3	3.2	1.4	4.7
NNE	6,5	2,31	16	5,8	8.8	3.85	22	8.0	6,2	2.47	0.4	5.5	6.5	1.8	0.5	5.8
NE	7,5	2,72	12	6,7	9.5	4.68	25	8.7	3,8	1.9	0.5	3.4	3.8	1.9	0.5	3.4
ENE	7,3	2,39	10	6,5	9.6	4.50	14	8.8	4,5	1.91	2.6	4	4.5	1.9	2.6	4
E	6,7	2,58	9	5,9	7.7	3.55	4	6.9	4,4	3.12	19.9	4	4.5	2.9	19.8	4
ESE	6,6	2,08	4	5,8	7.6	2.56	3	6.8	4,8	2.8	7.4	4.2	4.8	2.8	7.4	4.2
SE	6,4	1,87	2	5,7	6.8	2.42	2	6.1	5	2.63	2.4	4.4	5	2.6	2.4	4.4
SSE	6	1,94	3	5,3	6.1	2.78	1	5.4	4,8	2.07	1.1	4.3	6.6	2.2	1.5	5.9
S	5,9	1,91	5	5,3	4.1	1.67	3	3.7	3,6	1.59	0.3	3.2	3.6	1.6	0.3	3.2
SSO	6	2,16	5	5,3	7.8	2.65	3	6.9	3,2	2.42	1.6	2.8	3.2	2.4	1.6	2.8
SO	6	1,76	4	5,3	8.4	2.82	4	7.5	3,3	1.51	1.6	3	3.3	1.4	1.6	3
OSO	6,6	1,93	4	5,9	8.0	2.69	3	7.1	4,2	1.87	12.2	3.7	4.2	1.9	12.2	3.7
O	5,1	2,36	5	4,5	6.5	2.31	2	5.7	5,8	2.16	40.7	5.2	5.8	2.2	40.5	5.2
ONO	4,9	3,08	2	4,3	6.4	2.45	1	5.6	6,6	2.31	4.7	5.8	6.6	2.3	4.7	5.8
NO	5,6	2,35	2	5	6.2	2.43	2	5.5	6,7	2.49	1.6	6	6.1	2.2	1.7	5.4
NNO	5,9	2,5	5	5,3	6.6	2.8	3	5.9	5,6	2.31	1.5	5	5.6	2.3	1.5	5

Si l'on se réfère à la classification des parcs éoliens PNL, nous notons que In Salah est considéré comme une zone favorable pour le développement des énergies éoliennes, il est dans la classe (03), alors la région de Adrar est dans la classe (04), il a également jugé approprié de l'exploitation éoliennes, pour les deux autres sites le gisement éolien est faible pour installer un parc éolien.

II.2. Milieu Naturel

L'Algérie compte 107 espèces de mammifères dont 47 sont protégées et 30 menacées de disparition. Elle dénombre aussi 336 oiseaux dont 107 sont protégés[1]. La faune du désert algérien est composée de fennecs, gazelles, gerboises, chats des sables, guépards, porcs-épics et lézards. Sur les hauteurs, dans les escarpements.

La nature du tissu végétal du désert est typiquement saharien. Une végétation qu'on retrouve principalement dans les vergers, les ksour, et dans les oasis. Une flore abondante par endroits.

II.3. Milieu humain

II.3.1. Population

Le nombre de la population algérienne a atteint 40,4 millions d'habitants au 1er janvier 2016 contre 39,963 millions d'habitants en juillet 2015, a appris l'APS auprès de l'Office national des statistiques (ONS)[70]

On observe une augmentation rapide de la population algérienne depuis l'indépendance

En janvier 2016[71], la population de l'Algérie est évaluée à 40,4 millions d'habitants contre 12,7 millions en 1965 [72] où la densité de la population moyenne du pays est de 14 habitants/km², elle dépasse en effet les 100 habitants/km² pour les régions du nord, principales régions peuplées de l'Algérie, mais dans le sud, la densité de population est faible, ce qui est dû aux conditions climatiques du désert.

La population Adrar, In Salah, Illizi, Tamanrasset compte respectivement 64 781 d'habitants, 32 518 d'habitants, 17 252 d'habitants, 92 635 d'habitants[73].

II.3.2. Agriculture

Le sud Algérien est une région agricole, elle est caractérisée par son système d'irrigation traditionnelle, où les palmiers dattiers occupent une superficie de 42 666 ha comprenant 4 286 350 de pieds et la production de dattes est environ 377 000 tonnes[74].

II.3.3. Activités Industrielles

Les principaux gisements des hydrocarbures en Algérie sont parmi les plus importants dans le monde. Ils sont généralement localisés dans le Sud. Selon Sonatrach, les 67% de réserves en hydrocarbures sont situées dans les régions d'Oued Mya et de Hassi Messaoud. Le Gaz à Hassi

R'mel et le pétrole à Hassi Messaoud (huile), Illizi contient 14% des réserves. En fin, Rhourde Nouss renferme 9% et Ahnet Timimoun 4% et Berkine[1].

L'activité minière en Algérie est très diversifiées, on observe plus d'une trentaine de substances qui sont exploités parmi elles : fer, sel, zinc, plomb, baryte, marbre, or, tungstène, diamant, terres rares, métaux rares et pierres précieuses et semi-précieuses.

Une ferme éolienne d'une puissance de 10 MW, implantée à Adrar, est fonctionnelle.

Le projet de 16 millions d'USD constitue le premier projet du genre en Algérie[75] .

Conclusion

Les formes de relief dans notre zone d'étude, sont particulièrement nettes et visibles, c'est bien le Sahara et si les processus morphogénétiques (vent, eau...etc.) à l'œuvre dans ce milieu sont caractéristiques, rien n'est étonnant à ce que les formes qui en résultent le soient aussi

le climat désertique caractérisé par une sécheresse extrême avec des précipitations rares et faibles, de très fortes chaleurs avec des températures excessivement élevées pendant une période plus ou moins longue, une très forte irradiation solaire avec une durée d'ensoleillement record dans une grande partie ainsi qu'une très faible humidité

L'analyse des ressources éoliennes des sites étudiées montre que ces sites sont caractérisés par un potentiel énergétique éolien important qui peut être effectivement exploité. En effet, le traitement statistique des données a permis d'évaluer les caractéristiques du potentiel éolien de quatre sites, mais seulement Adrar et In Salah sont favorables pour installer un parc éolien 12MW.

Les résultats obtenus montrent que la valeur du paramètre de forme k , varie de 1,80 (Illizi) à 2,48 (In Salah), cela signifie que toutes les distributions sont stables. Le paramètre d'échelle C varie de 4,6 m/s à 6,3 m/s et la vitesse moyenne \bar{v} varie de 4,1 m/s à 5,5 m/s, cela signifie que ces sites sont des sites ventés.

Le sud Algérien est une région agricole, elle est caractérisée par son système d'irrigation traditionnelle.

Les principaux gisements des hydrocarbures en Algérie sont parmi les plus importants dans le monde. Ils sont généralement localisés dans le Sud. Selon Sonatrach, les 67% de réserves en hydrocarbures sont situées dans les régions d'Oued Mya et de Hassi Messaoud. Illizi contient 14% des réserves. En fin, Rhourde Nouss renferme 9% et Ahnet Timimoun 4% et Berki.

Chapitre III : Choix des éoliennes et dimensionnements des parcs

Introduction

Avant de se lancer dans l'installation d'éoliennes pour un site étudié de faisabilité est nécessaire. Il se concentre sur les critères de base, Les éoliennes nécessitent une exposition aux vents forts et normaux.

Tout d'abord, nous devons analyser la topographie des lieux. C'est le premier critère qui ce prend en compte. D'abord, vous devez avoir un terrain large et clair. Deuxièmement, ces terrains doivent être exposés à des vents réguliers et suffisants . Un anémomètre peut aider à mesurer l'énergie éolienne sur le terrain[1]

Après l'étude et l'analyse des ressources éoliennes des sites étudiées montre que ces sites sont caractérisés par un potentiel énergétique éolien important, et d'après le traitement statistique des données a permis d'évaluer les caractéristiques du potentiel éolien nous choisissons que seulement Adrar et In Salah sont favorables pour installer un parc éolien 12MW.

III.1. Puissance et Énergie

III.1.1. Puissance

La puissance du vent en relation avec la vitesse v par une section de la roue S avec une densité d'air ρ qui s'exprime par l'équation suivante[16], [41]–[43], [45]–[47], [55], [67], [76]–[85] :

$$P(v) = \frac{1}{2} \rho S v^3 \quad (3.1)$$

La densité (1.225 kg/m^3) de référence correspond à la densité de l'air sec au niveau de la mer à la température de 15°C et la pression $P = 1013.3 \text{ mbar}$, est employée dans les courbes de puissance pour les fabricants des éoliennes ($T = 15^\circ\text{C}$). Mais la densité d'air est un paramètre local où elle dépend de la pression atmosphérique et de la température à chaque emplacement. en supposant que l'air est un gaz parfait nous pouvons conclure le rapport suivant [47]:

$$\rho = \frac{335.49}{T} \exp\left(-0.034 \frac{Z}{T}\right) \quad (3.2)$$

Où z est l'altitude (m) et T est la température (K).

Les données de vitesse de vent sont mesurées à une hauteur de 10 m. Tandis que la vitesse de vent change avec les hauteurs. L'expression d'extrapolation des paramètres de Weibull est choisie pour extrapoler le paramètre de forme k_1 à la hauteur de référence Z_1 vers le facteur de forme k_2 à la hauteur de moyeu Z_2 , peut être exprimée par l'équation suivante [16] :

$$\frac{k_2}{k_1} = \left[\frac{1 - 0.08881 \ln\left(\frac{Z_1}{10}\right)}{1 - 0.08881 \ln\left(\frac{Z_2}{10}\right)} \right] \quad (3.3)$$

et

$$\frac{C_2}{C_1} = \left(\frac{Z_2}{Z_1} \right)^\alpha \quad (3.4)$$

Avec

$$\alpha = \left[\frac{0.37 - 0.08881 \ln(C_1)}{1 - 0.08881 \ln\left(\frac{Z_1}{10}\right)} \right] \quad (3.5)$$

Où C_1 et C_2 Facteur d'échelle de Weibull (m/s).

L'éolienne peut convertir l'énergie aérodynamique du vent en énergie électrique, où la puissance électrique de vent peut être écrite comme suit [55] :

$$p_e(v) = C_e(v)p(v) \quad (3.6)$$

Le coefficient d'efficacité de l'éolienne C_e est [86] :

$$C_e = C_p \eta_m \eta_g \quad (3.7)$$

Où C_p , η_m et η_g sont respectivement le coefficient de la puissance, Le rendement du multiplicateur et le rendement de la génératrice.

Le coefficient d'efficacité de l'éolienne C_e peut être écrite sous la forme d'un polynôme[45], [81]:

$$\begin{cases} C_e = \sum_{i=0}^6 a_i v^i & \text{si } v_d \leq v \leq v_a \\ C_e = 0 & \text{si } v_d > v \text{ ou } v > v_a \end{cases} \quad (3.8)$$

Où v_d est la vitesse de démarrage (m/s) et v_a est la vitesse d'arrêt. Les paramètres des éoliennes pour des modèles standards sont présentés dans le tableau III. 1 et les courbes de puissances des éoliennes choisies sont illustrées dans la figure III. 1

Tableau III. 1. Paramètres de la conception de l'éolienne standard[87]

Caractéristiques	Pr (kW)	D(m)	Z ₂ (m)	V _d (m/s)	V _a (m/s)
Wgt 800kw	800	52	50	4	25
Wgt 1.5 Mw	1500	80	100	4	25
Wgt 2.3 Mw	2300	90	100	4	25
Wgt 3.6 Mw	3600	107	90	4	25

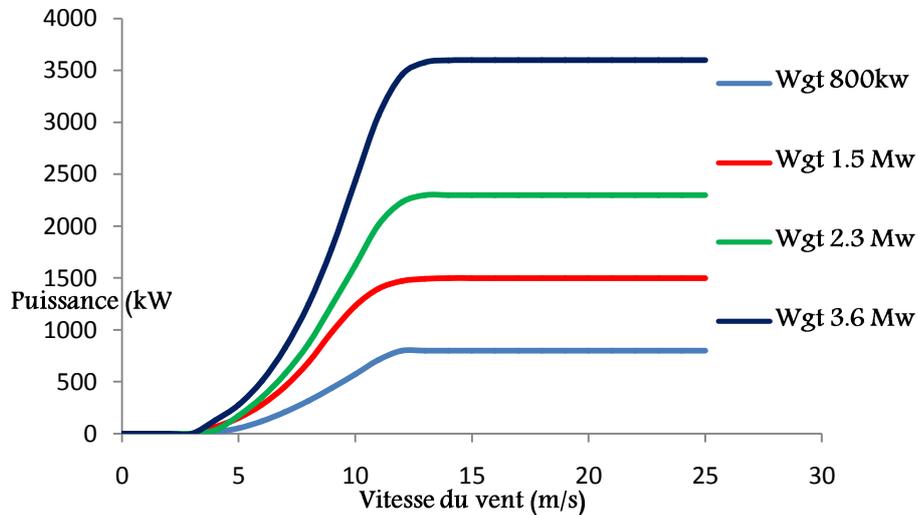


Figure III. 1. Courbes de puissances des éoliennes choisies [87]

La méthode de trapèze est utilisée pour estimer la puissance moyenne annuelle générée par une éolienne[1]:

$$\bar{P} = \int_{v_d}^{v_a} P_e(v) f(v) dv \quad (3.9)$$

La méthode d'intégration approchée, dite *des* trapèzes, décrite ci-après, introduite par Newton & Cotes est plus précise que la méthode élémentaire, dite *des* rectangles, correspondant aux sommes de Riemann consistant à remplacer la fonction initiale par une approximation en escalier, la formule générale de l'intégration de trapèze [1] :

$$\int_a^b f(x) dx \approx \frac{h}{2} \sum_{i=1}^n (f(x_{i+1}) + f(x_i)) \quad (3.10)$$

On a calculé la densité annuelle moyenne de puissance pour les deux sites étudiés pour des éoliennes (puissance nominal varie de 800kw à 3600kw). Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau III.2.

Tableau III. 2. Densité de puissance et puissance moyenne par éolienne

Éolienne	Wgt 800kw		Wgt 1.5 MW		Wgt 2.3 MW		Wgt 3.6 MW	
Site	densité de puissance (W/m ²)	puissance moyenne / éolienne (kW)	densité de puissance (W/m ²)	puissance moyenne / éolienne (kW)	densité de puissance (W/m ²)	puissance moyenne / éolienne (kW)	densité de puissance (W/m ²)	puissance moyenne / éolienne (kW)
Adrar	186,5	396,1	195,7	983,9	226,4	1440,5	235,8	2120,5
In Salah	182,3	387,3	197,2	991,3	226,3	1439,5	233,2	2096,6

A Adrar la densité de puissance annuelle moyenne varie de 186,5 w/m² (l'équivalent d'une puissance moyenne par éolienne de l'ordre de 396,1 kW) produite par une éolienne de type Wgt 800kw à 233,2 W/m² (l'équivalent d'une puissance moyenne par éolienne de l'ordre de 2120,5 kW) produite par une éolienne de type Wgt 3.6 MW

A In Salah la densité de puissance annuelle moyenne varie de 182,3 w/m² (l'équivalent d'une puissance moyenne par éolienne de l'ordre de 387,3kW) produite par une éolienne de type Wgt 800kw à 235,8 W/m² (l'équivalent d'une puissance moyenne par éolienne de l'ordre de 2096,6 kW) produite par une éolienne de type Wgt 3.6 Mw. On constate que la densité de puissance dépend des conduites climatiques du site (vitesse et température du vent) ainsi que de l'efficacité et le diamètre de l'éolienne.

III.1.2. Estimation de l'énergie produite par un parc éolien

Le facteur de capacité (CF) pour un site donné est défini comme le rapport de l'énergie produite par le système sur l'énergie nominale[1] :

$$CF = \frac{\bar{P}}{P_N} \quad (3. 11)$$

Lorsque plusieurs turbines sont installées en bloc, la turbulence due à la rotation des lames d'une turbine peut affecter les turbines à proximité. Afin de minimiser l'effet de cette turbulence induite par le rotor, un espacement de l'ordre 3 à 4 D (D est le diamètre du rotor) est fourni à l'intérieur des rangées (En général, la perte d'énergie à cause de l'effet de parc est d'environ 5 %) [69], [84].

De même, l'écartement entre les rangées peut être de l'ordre 10 D, de sorte que le courant d'air passant à travers une turbine est rétabli avant son interaction avec la turbine suivante. [47]

Cet espacement peut être encore augmenté pour une meilleure performance, mais il peut être coûteux car nous avons besoin plus de terres et d'autres ressources pour plus d'espacement.

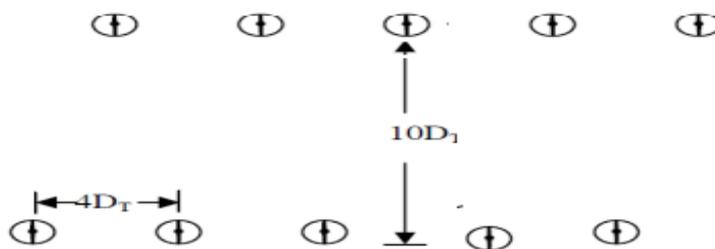


Figure III. 2. Planification du parc éolien [1], [47]

L'énergie annuelle totale produite par un parc éolien peut être calculé par l'équation suivante[44] :

$$E_T = (1 - 0.05)NE_w \tag{3.12}$$

Où N est le nombre de turbines dans le parc éolien et E_w est l'énergie récupérable sur une année pour une éolienne, égale à [43], [47], [86] :

$$E_w = \bar{P} \times 8760 \tag{3.13}$$

Nous avons choisi d'installer un parc éolien avec une puissance nominale de 12MW. On a estimé, comme indiqué ci-dessous, l'énergie produite par les différents types d'éoliennes (voir Tableau III. 3)

Tableau III. 3. Estimation de l'énergie produite par un parc éolien de puissance 12MW.

Éolienne	Wgt 800kw		Wgt 1.5 Mw		Wgt 2.3 Mw		Wgt 3.6 Mw	
Nombre	15		8		5		3	
Site	Adrar	In Salah	Adrar	In Salah	Adrar	In Salah	Adrar	In Salah
Cf (%)	49,5	48,4	65,60	66,10	62,6	62,5	58,9	58,2
E_w (GWh)	3,47	3,39	8,62	8,68	12,62	12,61	18,58	18,37
E_T (GWh)	49,45	48,35	65,50	66,00	59,94	59,90	52,94	52,34

A partir du tableau III. 3, on observe que l'éolienne de type Wgt 1.5 MW possède le meilleur facteur capacité qui varie de 65,60% (Adrar) à 66,10% (In Salah). On constate que cette dernière a un meilleur rendement par rapport aux autres éoliennes.

Pour Adrar et In Salah, on constate que le parc éolien composé d'une rangée de 8 aérogénérateurs (Wgt 1.5MW) produit une énergie beaucoup plus que les autres types éoliennes, la production énergétique du parc éolien composé d'une rangée de 8 aérogénérateurs (Wgt 1.5 MW) durant une année à In Salah, égal à 66.00 GWh et pour Adrar le même parc produit 65.50GWh durant une année.

III.2. Coût de l'énergie

III.2.1. Coût d'investissement initial

Le coût des éoliennes peut varier considérablement selon le type de l'éolienne et le coût des matières premières (acier). La variation peut être de 25-30% du prix. Cette différence n'est pas négligeable car le coût total d'achat des éoliennes représente généralement 74% du coût total du projet. Le coût de l'éolienne peut être déterminé comme suit [88]:

$$C_{wt} = C_{spe} P_r \quad (3.14)$$

Où P_r est la puissance nominale et C_{spe} est le coût spécifique des éoliennes. Elle est donnée dans le tableau III. 4.

Tableau III. 4 . Coût spécifique des éoliennes[89]

P_r (kW)	Coût spécifique (\$ / kW)
10–20	2200–2900
20–200	1500–2300
200>	1000–1600

Le coût d'investissement initial est égal à la somme des coûts des composantes. Le coût d'investissement total est donné par [84] :

$$IC = C_{wt} + C_{st} + C_{en} + C_{ci} + C_{tr} + C_{el} + C_{misc} \quad (3.15)$$

Où C_{wt} est le coût de l'éolienne,
 C_{st} est le coût de l'étude ;
 C_{en} est le coût d'ingénierie;
 C_{ci} est le travail civil et le coût d'installation;
 C_{tr} est le coût du transport;
 C_{el} est le coût de la connexion électrique;
 C_{misc} est coût divers.

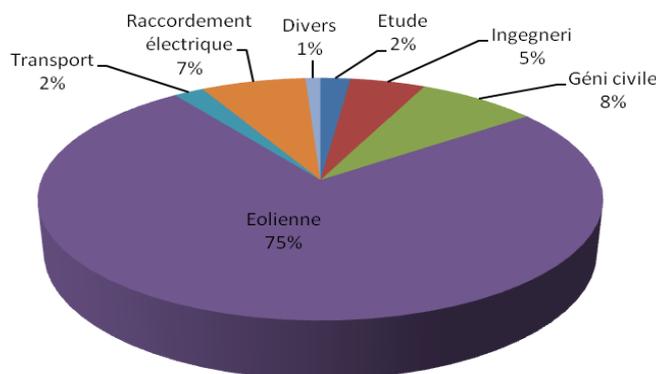


Figure III. 3. Répartition des coûts d'investissement pour un parc éolien [1]

On a calculé Les coûts du parc éolien pour les deux sites étudiés pour des éoliennes. Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau III.5.

Tableau III. 5 . Coûts du parc éolien de puissance 12MW

	Coût (Million \$)			
	Wgt 800kw	Wgt 1.5 Mw	Wgt 2.3 Mw	Wgt 3.6 Mw
IC	20,80	20,80	19,93	18,72
C _{wt}	15,60	15,60	14,95	14,04
C _{st}	0,42	0,42	0,40	0,37
C _{en}	1,04	1,04	1,00	0,94
C _{ci}	1,66	1,66	1,59	1,50
C _{tr}	0,42	0,42	0,40	0,37
C _{el}	1,46	1,46	1,40	1,31
C _{misc}	0,21	0,21	0,20	0,19

On peut constater que le parc éolien composé de 15 éoliennes du type Wgt800kW et le parc éolien composé de 8 éoliennes du type Wgt1500kW a le coût d'investissement initial le plus cher, où les coûts moyens des éoliennes, de l'étude, de l'ingénierie, des travaux génie civil, du transport, du raccordement électrique et des composants divers sont respectivement 15.60 millions \$, 0.42 million \$, 1.04 millions \$, 1.66 millions \$, 0.42million \$, 1.46 millions \$ et 0.21 million \$, dont le coût d'investissement initial représente 20.80 millions \$.

Le parc éolien composé de 5 éoliennes du type Wgt2300kW, les coûts moyens des éoliennes, de l'étude, de l'ingénierie, des travaux génie civil, du transport, du raccordement électrique et des composants divers sont respectivement de 14.95 millions \$, 0.40 million \$, 1.00 millions \$, 1.59 millions \$, 0.40 million \$, 1.40 millions \$ et 0.20 million \$, dont le coût d'investissement initial représente millions 19.93 \$.

Pour les autres parcs, les coûts moyens des éoliennes, de l'étude, de l'ingénierie, des travaux génie civil, du transport, du raccordement électrique et des composants divers sont respectivement de 14.04 millions \$, 0.37 million \$, 0.94 millions \$, 1.50 millions \$, 0.37 million \$, 1.31 millions \$ et 0.19 million \$, dont le coût d'investissement initial représente millions 18.72 \$.

Les Coûts du parc éolien sont calculés à partir des équations suivantes :

$$\text{➤ } C_{st} = IC \times 0.02 \quad (3.16)$$

$$\text{➤ } C_{en} = IC \times 0.05 \quad (3.17)$$

$$\text{➤ } C_{ci} = IC \times 0.08 \quad (3.18)$$

$$\text{➤ } C_{tr} = IC \times 0.02 \quad (3.19)$$

$$\text{➤ } C_{el} = IC \times 0.07 \quad (3.20)$$

$$\text{➤ } C_{misc} = IC \times 0.01 \quad (3.21)$$

III.2.2. Coût total actualisé

L'estimation du coût total actualisé et le coût de la maintenance pour les parcs éolien, sur les sites considérés a été effectué selon les hypothèses suivantes [84]:

- La durée de vie des éoliennes (n) a été supposée 20 ans ;
- Le taux d'actualisation (r) est de 8% ;
- Le ratio d'escalade de l'exploitation et de l'entretien (e_m) a été supposé à 6% ;
- Le coût de la maintenance pour la première année (C_{om}) a été estimé à 25% ;
- On suppose que le parc éolien produit la même énergie chaque année pendant sa durée de vie utile.

Le coût total actualisé est défini par[88]:

$$PVC = CRF \times IC + C_{om(p)} \quad (3. 22)$$

Où $C_{om(p)}$ représente les coûts de maintenance pendant la durée de vie du système (\$). Il peut être calculé comme suit [88]:

$$C_{om(p)} = \frac{C_{oma}}{1 - e_m} \left[1 - \left(\frac{1 + e_m}{1 + r} \right)^n \right] \quad (3. 23)$$

CRF est le facteur d'actualisation, défini par [88]:

$$CRF = \frac{r}{1 - (1 + r)^{-n}} \quad (3. 24)$$

Les valeurs des Coûts total actualisés et des coûts de la maintenance pour le parc éolien 12MW en fonction de la puissance nominale de l'éolienne sont représentés dans la figure III. 4.

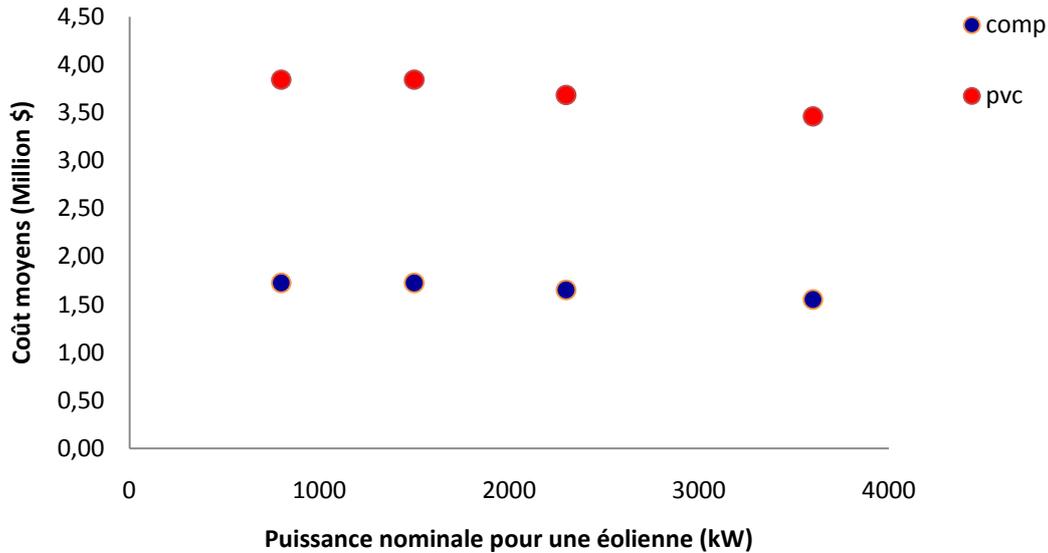


Figure III. 4. Coût total actualisé (pvc) et le coût de la maintenance (c_{omp})

A partir de la figure III. 4, On peut constater que le parc éolien composé de 15 éoliennes de type Wgt800kW et le parc éolien composé de 8 éoliennes de type Wgt1500kW a la plus chère la valeur de coûts actualisé et de coût des maintenances, ce qui représente 3.84 millions \$ et 1.73 millions \$ respectivement.

Le parc éolien composé de 5 éoliennes de type Wgt2300kW le coût actualisé et le coût des maintenances, représentent 3.68 millions \$ et 1.65 millions \$ respectivement, tandis que le parc éolien composé de 3 éoliennes de type Wgt3600KW le coût actualisé et le coût des maintenances, représentent 3.46 millions \$ et 1.55 millions \$ respectivement.

III.2.3. Coût de l'électricité du parc éolien

Le coût du kWh produit est égal au rapport du coût total actualisé du projet PVC sur l'énergie électrique produite E_T [88]:

$$C_{ep} = \frac{PVC}{E_T} \quad (3.25)$$

On a calculé Les Coûts du kWh produit par un parc éolien 12MW pour les deux sites étudiés pour des éoliennes. Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau III.6.

Tableau III. 6. Coûts du kWh produit par un parc éolien 12MW.

site	Wgt 800 kW	Wgt 1500 kW	Wgt 2300 kW	Wgt 3600 Kw
Adrar(\$/ kWh)	0,078	0,059	0,061	0,065
In Salah(\$/ kWh)	0,080	0,058	0,062	0,066

A partir de tableau III. 6, On peut constater que le faible coût du kWh est produit par le parc éolien composé de 8 éoliennes de type Wgt1500kW à Adrar et In Salah, ce qui représente 0,059\$/ kWh et 0,058\$/ kWh respectivement.

III.3. Choix des éoliennes

Après avoir comparé le rendement énergétique et le coût global des divers systèmes proposés, on peut procéder au choix des éoliennes à installer.

On dispose de surfaces favorables pour d'importantes zones de développement d'éolienne ZDE. A cet effet, notre choix s'est porté sur une éolienne puissante, où le coût du kWh produit est le moins cher.

À Adrar, pour atteindre une puissance nominale de 12MW, le bon choix c'est porté sur une rangée de 8 éoliennes de type Wgt1.5 MW distantes de 320 m entre elles du Nord Nord Ouest (NNO) vers le Sud Sud East (SSE). La planification géographique du parc est illustrée dans la figure III- 5. Le parc éolien virtuel est représenté dans la figure III- 6.

A In Salah, on conserve la même planification que celle d'Adrar. Cependant, l'orientation du range change selon l'axe Sud Est (SE) vers Nord Ouest (NO). La planification géographique du parc est illustrée dans figure III- 7. Le parc éolien virtuel est représenté dans la figure III- 8.

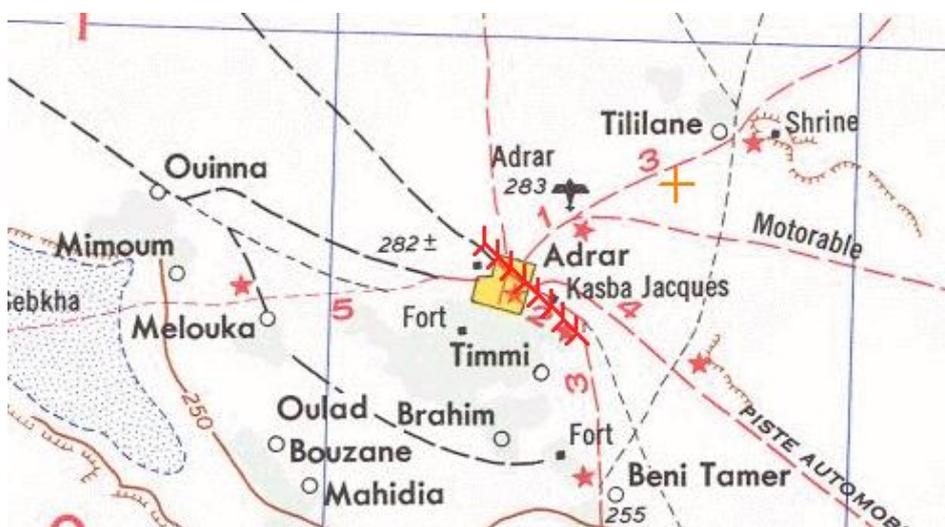


Figure III. 5 .Les planifications géographiques des parcs éoliens à Adrar.

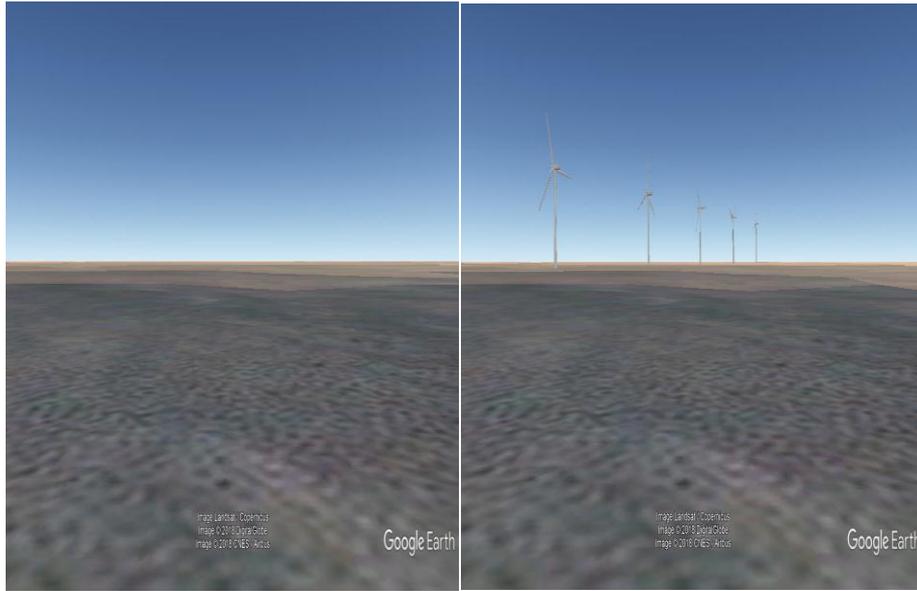


Figure III. 6 . Parc éolienne de site Adrar



Figure III. 7 . Les planifications géographiques des parcs éoliens à In Salah



Figure III. 8 .Parc éolienne de site In Salah

Conclusion

En tenant compte des caractéristiques du gisement éolien de nos sites étudiés. Notre choix s'est porté sur 4 types des éoliennes, avec une puissance nominale qui varie de 800kW à 3600kW.

De nos calculs, on peut déduire que In Salah et Adrar a la meilleure densité annuelle de puissance, avec une valeur maximal produite par une éolienne de type Wgt 1.5MW égal à 197.2 W/m² pour in Salah et pour Adrar a valeur maximal produite par une éolienne de type Wgt1.5MW égal à.195.7 W/m²

L'éolienne de type Wgt 1.5 MW possède le meilleur facteur capacité qui varie de 65,60% (Adrar) à 66,10% (In Salah). On constate que cette dernière a un meilleur rendement par rapport aux autres éoliennes.

Pour Adrar et In Salah, on constate que le parc éolien composé d'une rangée de 8 aérogénérateurs (Wgt 1.5MW) produit une énergie beaucoup plus que les autres types éoliennes, la production énergétique du parc éolien composé d'une rangée de 8 aérogénérateurs (Wgt 1.5 MW) durant une année à In Salah, égal à 66.00 GWh et pour Adrar le même parc produit 65.50GWh durant une année.

Le parc éolien compose de15 éoliennes du type Wgt800kW et le parc éolien compose de 8 éoliennes du type Wgt1500kW a le coût d'investissement initial le plus cher, où les coûts moyens des éoliennes, de l'étude, de l'ingénierie, des travaux génie civil, du transport, du raccordement électrique et des composants divers sont respectivement 15.60 millions \$, 0.42 million \$ 1.04 millions \$, 1.66 millions \$, 0.42million \$, 1.46 millions \$ et 0.21 million \$, dont le coût d'investissement initial représente 20.80 millions \$.

Le parc éolien composé de 5 éoliennes de type Wgt2300kW le coût actualisé et le coût des maintenances, représentent 3.68 millions \$ et 1.65 millions \$ respectivement, tandis que le parc éolien composé de 3 éoliennes de type Wgt3600KW le coût actualisé et le coût des maintenances, représentent 3.46 millions \$ et 1.55 millions \$ respectivement

Pour les autres parcs, les coûts moyens des éoliennes, de l'étude, de l'ingénierie, des travaux génie civil, du transport, du raccordement électrique et des composants divers sont respectivement de 14.04 millions \$, 0.37 million \$, 0.94 millions \$, 1.50 millions \$, 0.37 million \$, 1.31 millions \$ et 0.19 million \$, dont le coût d'investissement initial représente millions 18.72 \$.

Le parc éolien compose de 15 éoliennes de type Wgt800kWet le parc éolien compose de 8 éoliennes de type Wgt1500kW a la plus chère la valeur de coûts actualisé et de coût des maintenances, ce qui représente 3.84 millions \$ et 1.73 millions \$ respectivement.

Le parc éolien composé de 5 éoliennes de type Wgt2300kW le coût actualisé et le coût des maintenances, représentent 3.68 millions \$ et 1.65 millions \$ respectivement, tandis que le

parc éolien composé de 3 éoliennes de type Wgt3600KW le coût actualisé et le coût des maintenances, représentent 3.46 millions \$ et 1.55 millions \$ respectivement.

Le faible coût du kWh est produit par le parc éolien composé de 8 éoliennes de type Wgt1500kW à Adrar et In Salah, ce qui représente 0,059\$/ kWh et 0,058\$/ kWh respectivement.

À Adrar, pour atteindre une puissance nominale de 12MW, le bon choix c'est porté sur une rangée de 8 éoliennes de type Wgt1.5 MW distantes de 320 m entre elles du Nord Nord Ouest (NNO) vers le Sud Sud East (SSE).

A In Salah, on conserve la même planification que celle d'Adrar. Cependant, l'orientation du range change selon l'axe Sud Est (SE) vers Nord Ouest (NO).

Conclusion général & perspective

Les énergies renouvelables participent à la lutte contre le changement climatique et à la maîtrise de l'approvisionnement énergétique propre. C'est aussi à la lutte contre les gaz à effet de serre et la prise de conscience collective d'un environnement plus « propre » qui conduit notre pays pour développer d'autres sources d'énergies dites « vertes », parmi elles l'énergie éolienne.

Dans ce cadre ; et afin de diversifier ces choix énergétiques, notre pays s'engage avec détermination sur la voie des énergies renouvelables, et commence à s'intéresser à la filière éolienne.

L'analyse des ressources éoliennes des sites étudiées montre que ces sites sont caractérisés par un potentiel énergétique éolien important que peut être effectivement exploité. En effet, le traitement statistique des données a permis d'évaluer les caractéristiques du potentiel éolien de quatre sites, mais seulement Adrar et In Salah sont favorables pour installer un parc éolien 12MW.

Les résultats obtenus montrent que la valeur du paramètre de forme k , varie de 1,80 (Illizi) à 2,48 (In Salah), cela signifie que toutes les distributions sont stables. Le paramètre d'échelle C varie de 4,6 m/s à 6,3 m/s et la vitesse moyenne \bar{v} varie de 4,1 m/s à 5,5 m/s, cela signifie que ces sites sont des sites ventés.

Le sud Algérien est une région agricole, elle est caractérisée par son système d'irrigation traditionnelle.

Les principaux gisements des hydrocarbures en Algérie sont parmi les plus importants dans le monde. Ils sont généralement localisés dans le Sud. Selon Sonatrach, les 67% de réserves en hydrocarbures sont situées dans les régions d'Oued Mya et de Hassi Messaoud. Illizi contient 14% des réserves. En fin, Rhourde Nouss renferme 9% et Ahnet Timimoun 4% et Berki

Pour affiner ce travail, il faudrait faire une analyse de l'effet de l'environnement sur ces parcs, et l'effet de ces parcs sur l'environnement de la région, après il faut faire un bilan de production de CO₂, les mesures doivent être faites sur chaque site avec des fréquences plus importantes et à la hauteur de l'éolienne pour de chaque site.

Référence

- [1] Miloud Benmedjahed, “Choix du site et optimisation du dimensionnement d’une installation éolienne dans le nord Algérien et son impact sur l’environnement,” Doctrat, Tlemcen, Algerie, 2013.
- [2] C. Alonso, “Contribution à l’optimisation, la gestion et le traitement de l’énergie,” Université Paul Sabatier-Toulouse III, 2003.
- [3] T. Ghennam, “Supervision d’une ferme éolienne pour son intégration dans la gestion d’un réseau électrique, Apports des convertisseurs multi niveaux au réglage des éoliennes à base de machine asynchrone à double alimentation,” Ecole Centrale de Lille, 2011.
- [4] M. Lopez, “Contribution à l’optimisation d’un système de conversion éolien pour une unité de production isolée,” Université Paris Sud-Paris XI, 2008.
- [5] A. Mirecki, “Étude comparative de chaînes de conversion d’énergie dédiées à une éolienne de petite puissance,” Institut National Polytechnique de Toulouse, 2005.
- [6] L. Moreau, “Modélisation, conception et commande de génératrices à réluctance variable basse vitesse,” Université de Nantes, 2005.
- [7] B. Multon *et al.*, *Etat de l’art des aérogénérateurs*. Ed. NOVELECT-ECRIN, ISBN 2-912154-8-1, 2002.
- [8] F. Poitiers, “Etude et commande de génératrices asynchrones pour l’utilisation de l’énergie éolienne-machine asynchrone a cage autonome-machine asynchrone a double alimentation reliée au réseau,” Université de Nantes, 2003.
- [9] N. Mekkaoui, “Contribution à la Modélisation et à la Commande d’une Mini-Centrale Eolienne à Base de Machines à Induction Simple et Double Alimentée,” Université de Batna 2, 2005.
- [10] L. Désamoré, “Ephémérides de décembre 2006,” *Le Ciel*, vol. 68, p. 365, 2006.
- [11] “2Atmosphere.pdf.” .
- [12] S. Madougou, “Étude du potentiel éolien du jet nocturne dans la zone sahélienne à partir des observations de radars profileurs de vent.,” Université Paul Sabatier-Toulouse III, 2010.
- [13] J. Sesiano, “L’influence des grandes éruptions volcaniques sur l’atmosphère et le climat,” University of Geneva, 1985.

- [14] R. Zander, "Présence de HF dans la stratosphère supérieure," *Comptes Rendus Hebd. Séances Académie Sci. Sér. B Sci. Phys.*, vol. 281, no. 12, pp. 213–214, 1975.
- [15] M. Nicolet, "La thermosphère," in *Aéronomie Communications*, 1959, vol. 16, p. 1.
- [16] N. K. Merzouk, "Evaluation du gisement énergétique éolien-Contribution à la détermination du profil vertical de la vitesse du vent en Algérie," Thèse de doctorat. Université Abou Bekr Belkaid, Tlemcen, 2006.
- [17] J.-P. Pagès, J.-P. Frangi, P. Durand, C. Estournel, and A. Druilhet, "Étude de la couche limite de surface Sahélienne—Experience Yantala," *Bound.-Layer Meteorol.*, vol. 43, no. 1–2, pp. 183–203, 1988.
- [18] I. Burton, E. Diringer, C. E. C. Ge, J. Smith, J. Parry, and U. N. Trotz, "Birds and climate change," in *A & C Black*, 1995.
- [19] E. Le Roy Ladurie, "Histoire du climat depuis l'an mil," *Nouv. Bibl. Sci. Fr. Fre*, 1967.
- [20] P. Pédelaborde, "Introduction à l'étude scientifique du climat," 1970.
- [21] M. R. Allen and W. J. Ingram, "Constraints on future changes in climate and the hydrologic cycle," *Nature*, vol. 419, no. 6903, pp. 224–232, 2002.
- [22] D. R. Easterling, G. A. Meehl, C. Parmesan, S. A. Changnon, T. R. Karl, and L. O. Mearns, "Climate extremes: observations, modeling, and impacts," *science*, vol. 289, no. 5487, pp. 2068–2074, 2000.
- [23] K. E. Trenberth, "Recent observed interdecadal climate changes in the Northern Hemisphere," *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, vol. 71, no. 7, pp. 988–993, 1990.
- [24] M. Van Loon *et al.*, "Evaluation of long-term ozone simulations from seven regional air quality models and their ensemble," *Atmos. Environ.*, vol. 41, no. 10, pp. 2083–2097, 2007.
- [25] A. D. Howard, "Effect of slope on the threshold of motion and its application to orientation of wind ripples," *Geol. Soc. Am. Bull.*, vol. 88, no. 6, pp. 853–856, 1977.
- [26] Y. Shao and H. Lu, "A simple expression for wind erosion threshold friction velocity," *J. Geophys. Res. Atmospheres*, vol. 105, no. D17, pp. 22437–22443, 2000.
- [27] H. Stommel, "The westward intensification of wind-driven ocean currents," *Eos Trans. Am. Geophys. Union*, vol. 29, no. 2, pp. 202–206, 1948.
- [28] O. H. Shemdin, "Modeling of wind induced current," *J. Hydraul. Res.*, vol. 11, no. 3, pp. 281–297, 1973.

- [29] A. S. Thorndike and R. Colony, "Sea ice motion in response to geostrophic winds," *J. Geophys. Res. Oceans*, vol. 87, no. C8, pp. 5845–5852, 1982.
- [30] K. Labitzke, A. H. Manson, J. J. Barnett, and M. Corney, "Comparison of geostrophic and observed winds in the upper mesosphere over Saskatoon, Canada," *J. Atmospheric Terr. Phys.*, vol. 49, no. 10, pp. 987–997, 1987.
- [31] "LA LOI DE BUYS BALLOT." [Online]. Available: http://www.grandvol.com/FFP-manuel/me_06.htm. [Accessed: 14-Nov-2017].
- [32] S. G. Benjamin and P. A. Miller, "An alternative sea level pressure reduction and a statistical comparison of geostrophic wind estimates with observed surface winds," *Mon. Weather Rev.*, vol. 118, no. 10, pp. 2099–2116, 1990.
- [33] R. A. Pielke, "A three-dimensional numerical model of the sea breezes over south Florida," *Mon. Weather Rev.*, vol. 102, no. 2, pp. 115–139, 1974.
- [34] "Brise | Vol libre wiki | FANDOM powered by Wikia." [Online]. Available: <http://volibre.wikia.com/wiki/Brise>. [Accessed: 14-Nov-2017].
- [35] A. Carmichael, *Mountain breezes: The collected poems of Amy Carmichael*. CLC Publications, 1999.
- [36] "Thermiques et brises de vallée." [Online]. Available: <http://freeborel.free.fr/meteonet/thermique.htm>. [Accessed: 14-Nov-2017].
- [37] "Mesurer la vitesse du vent." [Online]. Available: <https://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=16659>. [Accessed: 14-Nov-2017].
- [38] M. Benmedjahed, N. Ghellai, and A. Benmansour, "Wind Potential Assessment of Three Coastal Sites in Algeria: Calculation and Modeling of Wind Turbine Noise using Matlab," *Int. J. Comput. Appl.*, vol. 56, no. 2, 2012.
- [39] S. M. Boudia, A. Benmansour, N. Ghellai, M. Benmdjahed, and M. T. Hellal, "Temporal assessment of wind energy resource in algerian highlands regions," *Rev. Energ. Renouvelables*, vol. 15, no. 1, pp. 43–55, 2012.
- [40] S. M. Boudia, A. Benmansour, N. Ghellai, M. Benmedjahed, and M. T. Hellal, "Temporal wind energy resource assessment at Ghardaia region," *Rev. Energ. Renouvelables*, pp. 67–74, 2012.
- [41] S. M. Boudia, A. Benmansour, N. Ghellai, M. Benmedjahed, and M. A. T. Hellal, "Temporal assessment of wind energy resource at four locations in Algerian Sahara," *Energy Convers. Manag.*, vol. 76, pp. 654–664, 2013.

- [42] M. Benmedjahed, N. Ghellai, A. Benmansour, S. M. Boudai, and M. T. Hellal, "Assessment of wind energy and energy cost in Algeria," *Int. J. Renew. Energy*, vol. 9, no. 1, pp. 31–40, 2014.
- [43] M. Benmedjahed and L. Boudaoud, "Temporal Assessment of Wind Energy Resource in Algerian Desert Sites: Calculation and Modelling of Wind Noise," *J. Fundam. Renew. Energy Appl.*, vol. 5, no. 3, pp. 1–4, 2015.
- [44] M. Benmedjahed, Z. Bouzid, and N. Ghellai, "Wind Potential Assessment of Ain Salah in Algeria; Calculation of the Cost Energy," *J. Energy Power Eng.*, vol. 4, no. 2, pp. 38–42, 2015.
- [45] M. Benmedjahed and S. Mouhadjer, "Evaluation of wind energy cost and site selection for a wind-farm in the south of Algeria," in *AIP Conference Proceedings*, 2016, vol. 1758, p. 030001.
- [46] M. Benmedjahed, N. Ghellai, Z. Bouzid, and A. Chiali, "Temporal Assessment of Wind Energy Resource in 'Adrar'(South of Algeria); Calculation and Modeling of Wind Turbine Noise," in *2nd International Congress on Energy Efficiency and Energy Related Materials (ENEFM2014)*, 2015, pp. 33–42.
- [47] S. Mathew, *Wind Energy - Fundamentals, Resource Analysis and Economics*, vol. 1. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2006.
- [48] "Rose des vents — Wikipédia." [Online]. Available: https://fr.wikipedia.org/wiki/Rose_des_vents. [Accessed: 14-Nov-2017].
- [49] L. Raineau, "Vers une transition énergétique?»,»," *Nat. Sci. Sociétés*, vol. 19, no. 2, pp. 133–143, 2011.
- [50] J. Bérard, "La migration éolienne," *Rev. Archéologique*, vol. 1, pp. 1–28, 1959.
- [51] "L'énergie éolienne et son impact sur la santé." [Online]. Available: <http://www.meteolafleche.com/Energies/energie-eolienne-sante.html>. [Accessed: 15-Nov-2017].
- [52] A. Mirecki, "Étude comparative de chaînes de conversion d'énergie dédiées à une éolienne de petite puissance," Institut National Polytechnique de Toulouse, 2005.
- [53] S. Mertens, "Wind energy in urban areas: Concentrator effects for wind turbines close to buildings," *Refocus*, vol. 3, no. 2, pp. 22–24, 2002.
- [54] M. Benmedjahed and R. Maouedj, *L'impacte d'un parc éolien sur l'environnement au sud Algérien*. Editions universitaires europeennes, 2017.

- [55] M. Benmedjahed and R. Maouedj, *The wind farm impact on the environment in Tindouf*. LAP LAMBERT Academic Publishing, 2017.
- [56] “Analyse_completude_pour_SI_cle1d2b7e-2.pdf” .
- [57] “Carte Algérie administrative, carte algérie.” [Online]. Available: <http://www.carte-algerie.com/carte-algerie-administrative.html>. [Accessed: 31-Jan-2018].
- [58] “Wilaya de Tamanrasset,” *Wikipédia*. 26-Dec-2017.
- [59] Y. Callot, “Evolution polyphasee d’un massif dunaire subtropical; le Grand Erg occidental (Algérie),” *Bull. Société Géologique Fr.*, vol. 4, no. 6, pp. 1073–1079, 1988.
- [60] N. Petit-Maire, D. Commelin, J. Fabre, and M. Fontugne, “First evidence for Holocene rainfall in the Tanezrouft hyperdesert and its margins,” *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, vol. 79, no. 3–4, pp. 333–338, 1990.
- [61] M. Lelubre, “Conditions structurales et formes de relief dans le Sahara,” *Inst Rech Saha Alger*, vol. 8, pp. 189–190, 1952.
- [62] “Illizi: Ville frontière immense - My Algerian Post,” 30-Jan-2014. [Online]. Available: <http://myalgerianpost.canalblog.com/archives/2014/01/30/29081217.html>. [Accessed: 31-Jan-2018].
- [63] “Climat en Algérie,” *Wikipédia*. 19-Jan-2018.
- [64] M. D.-L. Salima, “ETUDE DE QUELQUES GROUPEMENTS PHYTOSOCIOLOGIQUES DU PARC NATIONAL DE L’AHAGGAR (WILAYA DE TAMANRASSET),” 2008.
- [65] F. Chellali, A. Khellaf, A. Belouchrani, and A. Rezioui, “A contribution in the actualization of wind map of Algeria,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 15, no. 2, pp. 993–1002, Feb. 2011.
- [66] S. M. Boudia, “Optimisation de l’Évaluation Temporelle du Gisement Énergétique Éolien par Simulation Numérique et Contribution à la Réactualisation de l’Atlas des Vents en Algérie - Recherche Google,” Thèse de Doctorat, Université de Tlemcen, Tlemcen, 2013.
- [67] S. M. Boudia, A. Benmansour, N. Ghellai, M. Benmedjahed, and M. A. Tabet Hellal, “Monthly and seasonal assessment of wind energy potential in Mechria region, occidental highlands of Algeria,” *Int. J. Green Energy*, vol. 9, no. 3, pp. 243–255, 2012.
- [68] M. Benmedjahed, R. Maouedj, and S. Mouhadjer, “Wind Potential Assessment of M’sila in Algerian Highlands Regions; Modeling of Wind Turbine Noise,” *Energy Procedia*, vol. 119, no. Supplement C, pp. 642–649, Jul. 2017.

- [69] M. Benmedjahed, R. Maouedj, and S. Mouhadjer, "Wind turbine selection and wind farm design in Tindouf," *Int. J. Renew. Energy*, vol. 12, no. 1, pp. 89–102, Jun. 2017.
- [70] "La population algérienne à 40,4 millions d'habitants en janvier 2016 (ONS). Mashaa allah | La Voix De Sidi Bel Abbes." .
- [71] "ONS : Office National des Statistiques." [Online]. Available: <http://www.ons.dz/>. [Accessed: 31-Jan-2018].
- [72] U. N. DeSA, "World population prospects: the 2012 revision," *Popul. Div. Dep. Econ. Soc. Aff. U. N. Secr. N. Y.*, 2013.
- [73] "F2012051.pdf." .
- [74] T. Otmane and Y. Kouzmine, "Bilan spatialisé de la mise en valeur agricole au Sahara algérien. Mythes, réalisations et impacts dans le Touat-Gourara-Tidikelt," *Cybergeo Eur. J. Geogr.*, 2013.
- [75] "APRUE." [Online]. Available: <http://www.aprue.org.dz/>. [Accessed: 31-Jan-2018].
- [76] J. A. Baroudi, V. Dinavahi, and A. M. Knight, "A review of power converter topologies for wind generators," *Renew. Energy*, vol. 32, no. 14, pp. 2369–2385, 2007.
- [77] S. P. K. Kodicherla, "Assessing wind energy potential for electricity generation using WECS in eight selected stations of Ethiopia," *Int. J. Ambient Energy*, pp. 1–11, 2017.
- [78] S. M. Boudia, A. Benmansour, and M. A. T. Hellal, "Assessment of Coastal Wind Energy Resource, Two Locations in Algerian East," *Int. J. Energy Sci.*, vol. 3, no. 1, Feb. 2013.
- [79] S. Abdelhady, D. Borello, and A. Shaban, "Assessment of levelized cost of electricity of offshore wind energy in Egypt," *Wind Eng.*, vol. 41, no. 3, pp. 160–173, 2017.
- [80] M. Kasbadji, "Evaluation du gisement énergétique éolien contribution à la détermination du profil vertical de la vitesse du vent en Algérie," *Dr. Univ. Abou Bekr Belkaid Tlemcen*, 2006.
- [81] R. Maouedj, K. Bouchouicha, and B. Boumediene, "Evaluation of the wind energy potential in the Saharan sites of Algeria," 2011, pp. 1–4.
- [82] A. S. Ahmed Shata and R. Hanitsch, "Evaluation of wind energy potential and electricity generation on the coast of Mediterranean Sea in Egypt," *Renew. Energy*, vol. 31, no. 8, pp. 1183–1202, Jul. 2006.

- [83] D. H. Didane, N. Rosly, M. F. Zulkafli, and S. S. Shamsudin, "Evaluation of Wind Energy Potential as a Power Generation Source in Chad," *Int. J. Rotating Mach.*, vol. 2017, pp. 1–10, 2017.
- [84] M. Benmdjahed and R. Maouedj, *L'Impacte D'Un Parc Éolien Sur L'Environnement Au Sud Algérien*, vol. 1. Sarrebruck: Éditions Universitaires Européennes, 2017.
- [85] M. Benmedjahed, N. Ghellai, Z. Bouzid, and A. Chiali, "Temporal Assessment of Wind Energy Resource in 'Adrar' (South of Algeria); Calculation and Modeling of Wind Turbine Noise," in *2nd International Congress on Energy Efficiency and Energy Related Materials (ENEFM2014)*, Springer, Cham, 2015, pp. 33–42.
- [86] M. Benmedjahed and L. Boudaoud, "Temporal Assessment of Wind Energy Resource in Algerian Desert Sites: Calculation and Modelling of Wind Noise," *J. Fundam. Renew. Energy Appl.*, vol. 5, no. 3, pp. 1–4, 2015.
- [87] "Downloads," *EMD International A/S*, 11-Aug-2014. [Online]. Available: <http://www.emd.dk/windpro/downloads/>. [Accessed: 30-Mar-2017].
- [88] S. Diaf and G. Notton, "Technical and economic analysis of large-scale wind energy conversion systems in Algeria," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 19, pp. 37–51, Mar. 2013.
- [89] M. Gökçek and M. S. Genç, "Evaluation of electricity generation and energy cost of wind energy conversion systems (WECSs) in Central Turkey," *Appl. Energy*, vol. 86, no. 12, pp. 2731–2739, Dec. 2009.

Dimensionnement d'un parc éolien au sud algérien

Résumé

Dans le présent travail nous avons optimisé le choix de site et le dimensionnement de parcs éoliens de 12MW pour le sud algérien ; des données météorologique horaires sur une durée de dix ans, spécialement les vitesses et directions des vents sont utilisées afin d'évaluer le gisement éolien les sites retenus. L'analyse de l'état initial des sites étudiés et de leur environnement nous a permis d'optimiser le choix du site et le dimensionnement du parc éolien. On a retenu quatre types d'aérogénérateurs (WGT 500 KW à WGT 3.6 MW).

L'analyse des ressources éoliennes des sites étudiées montre que ces sites sont caractérisés par un potentiel énergétique éolien important qui peut être effectivement exploité. En effet, le traitement statistique des données a permis d'évaluer les caractéristiques du potentiel éolien de quatre sites, mais seulement Adrar et In Salah sont favorables pour installer un parc éolien 12MW, pour atteindre une puissance nominale de 12MW, le bon choix est porté sur une rangée de 8 éoliennes de type Wgt1.5 MW distantes de 320 m.

ملخص:

في العمل الحالي قمنا باختيار المواقع وحجم مزارع الرياح 12 ميغا واط لجنوب الجزائر. وتستخدم بيانات الأرصاد الجوية كل ساعة خلال فترة عشر سنوات، وخاصة سرعات الرياح والاتجاهات لتقييم مواقع مزرعة الرياح المختطف بها. لقد سمح لنا تحليل الحالة الأولية للمواقع المدروسة وبيئتها باختيار أحسن موقع وأبعاد مزارع الرياح. تم اختيار أربعة توربينات (WGT 500 KW à WGT 3.6 MW).

ويبين تحليل موارد الرياح في المواقع التي تمت دراستها أن هذه المواقع تتميز بإمكانيات طاقة الرياح المامة التي يمكن استغلالها بفعالية. وبالفعل، فإن المعالجة الإحصائية للبيانات جعلت من الممكن تقييم خصائص إمكانات الرياح لأربعة مواقع، لكن Adrar و صالح فقط هما منضلان لتزكيب مزرعة الرياح 12 ميغا واط. للوصول إلى قوة اسمية تبلغ 12 ميغا واط، يتم الاختيار الجيد على صف من 8 توربينات الرياح من نوع Wgt1.5 MW. تبعد عن بعضها البعض بـ 320 متر.

Abstract

The aim of this work is to optimize the site selection and sizing of 12MW wind farms for southern Algeria; hourly weather data over a period of ten years, especially wind speeds and directions are used to evaluate the wind farm sites selected. The analyses of the initial state of the studied sites and their environment allowed us to optimize the choice of the site and the dimensioning of the wind farm. Four types of wind turbines were selected (WGT 500 KW to WGT 3.6 MW).

The analysis of the wind resources of the sites studied shows that these sites are characterized by a significant wind energy potential that can be effectively exploited. Indeed, the statistical treatment of the data made it possible to evaluate the characteristics of the wind potential of four sites, but only Adrar and In Salah are favorable to install a wind farm 12MW, to reach a nominal power of 12MW, the good choice it is carried on a row of 8 wind turbines type Wgt1.5 MW distant 320 m.