

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA 1**



**Faculté de Technologie  
Département De Mécanique**

Présentée par :

**BOUMCHEDA SID AHMED**

**ET**

**KAIM FAYÇAL**

En vue de l'obtention du diplôme de **MASTER**

**Filière : Génie Mécanique**

**Option : Énergétique**

Sur le thème :

***Simulation d'un Système de Pompage Eolien***

L'encadrement est assuré par :

Dr MAZIDI

AHMED

MRB

UDES/CDER

ENCADREUR

Dr AICHE HAMANE LILIA

MCB

USDB 1

CO-ENCADREUR

Année Universitaire 2020/2021

## Remerciements

Ce travail a été réalisé dans le cadre d'un projet de fin d'études, pour obtenir le diplôme « Master en mécanique option énergétique » à l'université de Saad Dahleb Blida / département de mécanique Blida, avec l'aide de l'Unité de Développement des Equipements Solaires- UDES, sous la tutelle du Centre de Développement des Energies Renouvelables CDER.

Avant tout, nous remercions ALLAH tout puissant de nous avoir donné la volonté et le courage de mener à bien ce travail. Et d'une façon toute particulière, on remercie nos chers parents pour leur patience et le bonheur qui nous ont apporté.

On tient à remercier notre encadreur Mr Mazidi Ahmed Et notre Co promoteur Mme Hamane pour nous avoir fait travailler sur un projet aussi intéressant et riche. Nous leurs sommes reconnaissants tout particulièrement pour la confiance qu'ils nous ont témoignées et la liberté qui nous a laissé.

Nos remerciements s'adressent également à Messieurs les jurys pour avoir accepté d'évaluer ce travail, avec l'espoir d'être à la hauteur de leur attente.

Enfin, nous adressons également nos remerciements à tous nos professeurs pour leur grande générosité et patience, et à tous ceux qui ont grandement contribué à la réalisation de ce travail. Que ce soit toujours, depuis quelques années ou quelques mois seulement, de nombreuses personnes ont été impliquées dans notre développement.

Nous les remercions sincèrement.

## Dédicaces

Je dédie ce travail aux :

- ♥ A mes très chers parents, source de vie, d'amour et d'affection ;
- ♥ A mes chers frères, source de joie et de bonheur ;
- ♥ A toute ma famille, source d'espoir et de motivation ;
- ♥ Et en fin à mes amis (es), pour leurs attentions, leurs soutiens, et surtout pour les beaux moments qu'on a partagés ensemble.

## Nomenclature

C	Facteur d'échelle	(M/s)
F(V)	Fonction de distribution de la vitesse du vent	
G	Intensité moyenne de pesanteur	(9.81 m/s <sup>2</sup> )
$H_m$	Hauteur manométrique	(Mètre)
K	Facteur de forme (-)	
$P_e$	Puissance moyenne fourni par l'éolienne ;	(Watt)
$P_n$	Puissance nominale	(Watt)
Q :	Débit moyen	(M <sup>3</sup> /jour)
T :	Période donnée	
$V_d$	La vitesse de démarrage	(M/s)
$V_n$	La vitesse nominale	(M/s)
$V_s$	La vitesse d'arrêt	(M/s)
$\eta$ :	Rendement de la pompe	
$\rho_e$ :	Masse volumique de l'eau (1000Kg/s <sup>2</sup> ).	
$\Gamma$	La fonction Gamma	
$\delta$ :	L'écart	

**Table des matières**

Liste des Figures-----	4
Liste des Tableaux-----	6
Introduction Générale-----	7
<b>Chapitre 1 Généralités sur l'énergie éolienne-----</b>	<b>11</b>
1.1. Introduction-----	12
1.2. Historique-----	12
1.3. Etat de l'art-----	13
1.4. Energie éoliennes-----	15
1.5. Fonctionnement d'une éolien -----	15
1.5.1. Les constituants d'une éolien-----	15
1.6. Classification des éoliennes -----	16
1.6.1. Classification selon leur utilisation -----	16
1.6.2. Classification selon leur mode de fonctionnement -----	17
1.6.2.1. Les éoliennes à axe vertical-----	17
1.6.2.2. Les éoliennes à axe horizontal -----	19
1.6.3. Classification des éoliennes selon leur puissance -----	20
1.7.1. La capacité éolienne mondiale -----	22
1.7.2 L'éolien en Algérie -----	24
Conclusion-----	26
<b>Chapitre 2 : Modèles Mathématiques Et les Données utilisées -----</b>	<b>26</b>
Introduction -----	27
1.1. Présentation du Wasp -----	27
1.2. Modèles statiques de l'analyse de vent -----	27
1.2.1 : Méthode des moindres carrés -----	28
1.2.2 : Méthode des moments -----	29
1.2.3 : Méthode de maximum de vraisemblance-----	30
1.2.4 : Méthode implémentée dans l'utilitaire OWC du logiciel Wasp -----	30
1.3. Performance de l'éolienne détermine par le Wasp-----	32
1.3.1 L'énergie annuelle produite : (AEP) -----	33
2. Estimation du débit moyen fourni -----	33
3. Données utilisées -----	33

## TABLE DES MATIERES

---

3.1. Choix des sites d'implantation des machines -----	34
3.2 Données météorologiques -----	34
3.3. Données relatives à l'éolien utilisée -----	35
Conclusion -----	36
<b>Chapitre 3 : Résultat et discussion</b> -----	<b>37</b>
Introduction -----	38
3.1 L'Etude statistique des données du vent-----	38
3.1.1 Région d'In Salah -----	38
3.1.2 Région de Tébessa -----	39
3.2 Evolution de la vitesse moyenne du vent dans la région « d'In Salah » et « Tébessa », à 10 m au-dessus du sol -----	44
Discussion des graphs -----	43
3.3 Débit on fonction de hauteur manométrique pour les deux sites -----	43
Conclusion -----	45
<b>Conclusion Générale</b> -----	<b>46</b>
<b>Référence Bibliographiques</b> -----	<b>49</b>

## **LISTE DES FIGURES**

<b>Figure 1.1:</b> La premiere éolienne 1888 Charles Brush-----	<b>12</b>
<b>Figure 1.2 :</b> composition d'une éolienne a axe horizontale-----	<b>15</b>
<b>Figure 1.3 :</b> Représentation schématique des systèmes éoliens mécanique et électrique pour le Pompage de l'eau-----	<b>16</b>
<b>Figure 1.4 :</b> Différente forme d'éolienne Darrieus-----	<b>17</b>
<b>Figure 1.5 :</b> Eolienne de type Savonius-----	<b>18</b>
<b>Figure 1.6 :</b> Première ferme éolienne a axe horizontal en Algérie a adrar 2014. -----	<b>19</b>
<b>Figure 1.7 :</b> Eoliennes types amont et aval-----	<b>19</b>
<b>Figure 1.8 :</b> Evolution de la capacité éolienne mondiale installée de 2016 à 2020, En MW-----	<b>22</b>
<b>Figure 1.9 :</b> Evolution de la production d'électricité d'origine éolienne dans les 11 pays leaders, En MW-----	<b>22</b>
<b>Figure 1.10 :</b> Photo satellite de la ferme éolienne de Kaberten (Adrar)-----	<b>24</b>
<b>Figure 1.11 :</b> Aérogénérateur GAMESA G52-850 KW-----	<b>24</b>
<b>Figure 1.12 :</b> La courbe de puissance pour Gamesa G52-850 KW-----	<b>25</b>
<b>Figure 2.1 :</b> situation géographique des sites étudiés (Tébessa, Ain Salah) ----	<b>34</b>
<b>Figure 2.2 :</b> La courbe de puissance pour Fortis Montana 5KW-----	<b>36</b>
<b>Figure 3.1 :</b> Histogramme des vitesses à 10 m au-dessus du sol. Données 2014-2016 Ain Salah-----	<b>38</b>
<b>Figure 3.2 :</b> Rose des vents à 10 m au-dessus du sol. Données 2014-2016 Ain Salah-----	<b>38</b>
<b>Figure 3.3 :</b> Histogramme des vitesses à 10 m au-dessus du sol. Données 2014-2016 Tébessa-----	<b>39</b>
<b>Figure 3.4 :</b> Rose des vents à 10 m au-dessus du sol. Données 2014-2016 Tébessa-----	<b>39</b>
<b>Figure 3.7 :</b> Evolution de la vitesse moyenne annuelle du vent dans la région « d'Ain Salah » et « Tébessa », à 10 m au-dessus du sol-----	<b>40</b>

## LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX

---

<b>Figure 3.8</b> : Vitesses moyennes mensuelles du vent de site de Tébessa pour 2014-2015-2016-----	<b>40</b>
<b>Figure3.9</b> : Vitesses moyennes mensuelles du vent de site de Ain Salah pour 2014-2015-2016-----	<b>41</b>
<b>Figure3.10</b> : Vitesses moyennes journaliers du vent de site de Tébessa pour février 2015-----	<b>41</b>
<b>Figure 3.11</b> : Vitesses moyennes journaliers du vent de site d'Ain Salah pour Décembre 2015-----	<b>42</b>
<b>Figure 3.12</b> : Courbe de débit journalier en fonction de la hauteur manométrique totale (Tébessa)-----	<b>43</b>
<b>Figure 3.13</b> : Courbe de débit journalier en fonction de la hauteur manométrique totale (Ain Salah) -----	<b>44</b>
<b>Figure 3.14</b> : Histogramme de débit journalier en fonction de la hauteur manométrique totale d'In Salah et Tébessa-----	<b>44</b>

**LISTE DES TABLEAUX**

<b>Tableau 1.1</b> : Classification des éoliennes selon leur puissance-----	<b>20</b>
<b>Tableau 2.1</b> : Situation géographique des stations métrologique-----	<b>35</b>
<b>Tableau 2.2</b> : Caractéristique de Fortis Montana-5 KW -----	<b>35</b>

---

## *Introduction générale*

---

### Introduction générale

Depuis le début du siècle, les besoins énergétiques dans le monde ont augmenté ; selon le rapport de l'Agence Internationale de l'Energie, la Consommation Mondiale de l'Energie primaire en 2019, augmente de 1,3 %. Sachant que pour la production d'électricité, les ressources fossiles étant les plus utilisés, l'utilisation de ces dernières conduisent à des effets dangereux sur l'environnement et leur l'épuisement. Dans cette alternative, la transmission énergétique par l'utilisation des énergies renouvelables est indispensable.

Ces énergies sont renouvelables et regroupent : l'énergie solaire (thermique et photovoltaïque), éolienne, hydraulique, géothermique, marine et la biomasse. Parmi ces ressources énergétiques, dans cette étude nous nous intéresserons à l'utilisation de l'énergie éolienne pour le pompage de l'eau dans deux régions algériennes. Le premier système de pompage situé dans les hauts plateaux et l'autre dans le sud algérien.

L'énergie éolienne est l'une des plus anciennes sources utilisées (production de l'énergie mécanique : pompage d'eau ou le meulage des grains ...). Ce type d'énergie renouvelable est inépuisable et répond aux préoccupations environnementales soulevées par des énergies conventionnelles. Elle est en plein développement en termes de puissance installée dans le monde. Plusieurs facteurs ont contribué et contribuent encore à son essor. L'énergie éolienne est propre et n'engendre aucune pollution, elle ne rejette aucune substance dangereuse dans l'environnement et n'engendre pas de déchets. L'utilisation d'une turbine de 1000 kW, dans les conditions normales, évite un rejet annuel de 2000 tonnes de dioxyde de carbone émis par d'autres sources de production d'électricité conventionnelles, comme par exemple les centrales électriques à charbon.

La capacité totale des toutes les éoliennes installées dans le monde en 2020 a atteint 744 Gigawatts, en enregistrant un record de 52 Gigawatts pour satisfaire, 7 % des besoins d'électricité (WWEA : World Wind Energy association). [1]

En Algérie, seul 1 % d'électricité est produit à partir des énergies renouvelables. Le reste est à partir des centrales à gaz naturel (Ministère de l'énergie, 2019). Dans ce contexte, l'énergie éolienne contribue faiblement avec un seul parc éolien connecté au réseau qui a été réalisé dans la région d'Adrar en 2014 à Kabertan qui se trouve à 72 km au nord de la Wilaya. La capacité de cette centrale est de 10,2 MW. Elle est constituée de

12 éoliennes de type Gamesa G52-850 KW de 850 kW de puissance chacune, implantées sur une superficie de 30 hectares [2].

Dans ce présent mémoire, **Intitulée Etude Comparative D'un Système De Pompage Eolien**, Nous avons choisi deux régions pour l'étude de l'installation de deux systèmes de pompage éoliens ; le premier dans les Hauts Plateaux : Tébessa et le second dans le sud : In Salah.

Ce mémoire comprend les parties suivantes :

- Nous débuterons par une introduction générale par la suite nous présenterons des généralités sur l'énergie éolienne ainsi qu'un bref aperçu sur les différents types des capteurs éoliens.
- Cette partie sera suivie par la méthodologie adoptée et la présentation des données météorologiques : vitesse et direction du vent, les données relatives à la topographie des deux sites étudiés et les données de l'aérogénérateur à installer.
- Présentation des résultats obtenus.
- Conclusion et perspectives.

---

## *Chapitre 1 : Généralités sur l'Energie éolienne*

---

### 1.1. Introduction :

Avec la croissance des industries et par conséquent avec l'augmentation des émissions de gaz à effet de serre dans l'atmosphère, les problèmes des énergies renouvelable est un sujet d'actualité.

C'est pour cette raison ; que nous allons ici nous intéresser à un des outils permettant de produire une Energie renouvelable : les éoliennes.

Les éoliennes utilisent l'énergie cinétique du vent (l'air en mouvement) pour le transférer en énergie mécanique du rotation puis électrique avec un régénérateur.

Ce chapitre défini l'énergie éolienne et présenté les différents types d'éoliennes

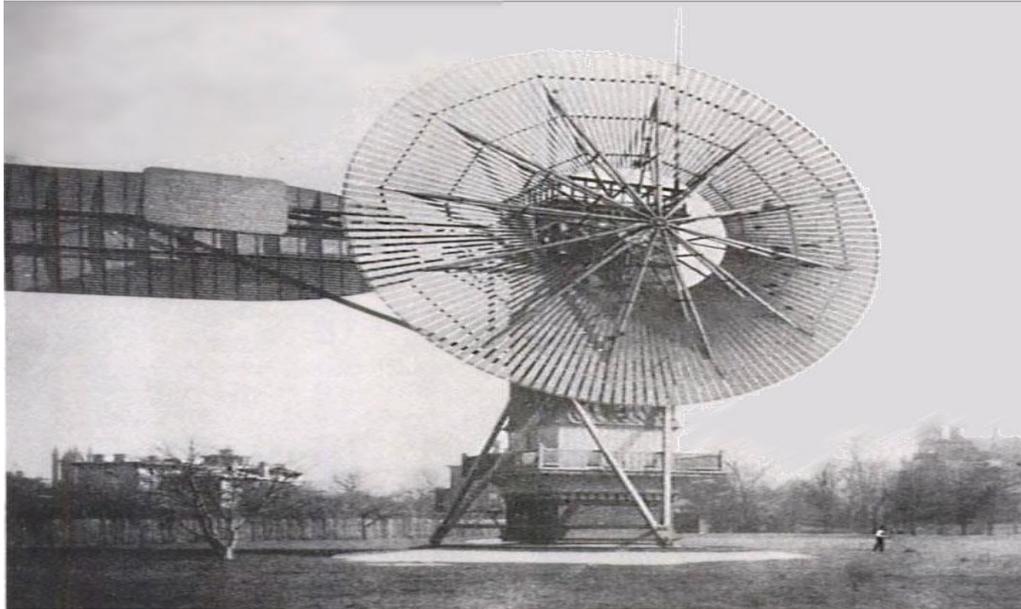
Ensuite présentation des sites étudier (Tébessa-In Salah) avec une conclusion

### 1.2. Historique :

L'utilisation de l'énergie de vent savait une grande évolution durant l'histoire, et ça continue de grandir et de se développer ; tout d'abord, les premières utilisations du vent en tant qu'énergie par l'homme remontent aux moulins à vent qui apparus à l'an 600 en orient puis en Égypte. Les moulins à vent produisaient une énergie mécanique puis servait à moudre les grains mais aussi à pomper l'eau pour irriguer les cultures.

Après l'Egypte ; les moulins à vent apparus en Europe un peu avant l'an 1000 en grand Bretagne puis en XII -ème siècle dans toute l'Europe.

Le début d'utilise cette énergie pour produire l'électricité c'était en 1888 la fin de XIX - ème siècle aux états unis par Charles F. Bush qui construit cette éolienne pour alimenter sa maison en électricité. (Figure 1.1)



**Figure (1.1) :** La première éolienne 1888 Charles Brush [9]

Au début de 20 -ème siècle, les éoliennes ont été amélioré et le modèle de ferme des éoliennes multi pales a été créé aux états unis. Et après les deux guerres mondiales et la crise du pétrole dans les années 70 ; les gouvernements de l'Allemagne, de la suède, de la canada, du royaume uni et des états unis à financer des projets de recherche et l'origine de cette conception d'éoliennes est la mise en œuvre des nouveaux désignes d'éoliennes que réduisent de façon significative le cout de l'énergie éolienne.

### **1.3 Etat de l'art :**

L'estimation du potentiel énergétique éolien disponible sur un site donné est sans doute l'étape la plus importante lorsqu'il s'agit d'envisager l'implantation d'un système d'exploitation de ce type d'énergie. Des travaux scientifiques à l'échelle nationale et internationale ont été réalisés par des chercheurs dans ce domaine pour l'évaluation des ressources éoliennes disponibles notamment à travers des Atlas éoliens qui sont actualisés en contenu. Dans ce qui suit on va citer quelques travaux de recherche dans ce domaine :

-A l'échelle internationale :

- ❖ L'atlas éolien européen établi par Troen et Lundtang Petersen (1989) en exploitant les données climatiques couvrant une période de 10 ans [3].

- ❖ Tran et Chen (2016) ont utilisé les données collectées entre 2005 et 2011 (soit, 7 années de données) du vitesse et direction de vent pour évaluer le potentiel éolien disponible dans l'île Phú Quốc (Vietnam) et à l'aide du programme WAsP10, ils ont pu simuler un parc éolien de 75 MW et de la 25 éolienne. Selon les résultats obtenus, ce parc éolien pourrait produire 189,636 GWhs d'électricité par an, ce qui permettrait de réduire les émissions de CO<sub>2</sub> de 81.923 tonnes par an [4].

-A l'échelle nationale :

- ❖ Le premier Atlas Vent de l'Algérie a établi par l'ONM en 1990 [5], les vitesses les plus élevées sont de l'ordre de 6 m/s et sont localisées dans la région d'Adrar. Ces résultats ont été obtenus à partir d'un traitement statistique des données vent couvrant jusqu'à 10 années de mesures.
- ❖ L. Hamane et al [6] ont établis des cartographies annuelle, mensuelle et saisonnière de la vitesse du vent en étendant leur étude sur les données de vent de 75 stations de mesure. Leurs travaux ont conclu que le gisement éolien est plus important au Sud qu'au Nord particulièrement dans le Sud-ouest, Il est plus important au printemps mais aussi que toute la région du Sud-ouest limitée par Timimoune, In-Salah, Tamanrasset et Tindouf est doté d'un potentiel éolien important.
- ❖ L'atlas éolien, actualisé en 2000 par N. Kasbadji Merzouk. Cette première carte a permis de localiser des régions intéressantes en ressources éoliennes telles que les régions d'Adrar et de Tiaret [7].
- ❖ Boudia et Guerri (2015) ont évalué le potentiel éolien disponible dans différentes régions du nord de l'Algérie en exploitant des données décennales [8]
- ❖ - Plus récemment, Abdeslam et al. (2017) ont utilisé dix années de données pour estimer les capacités de production de parcs éoliens installés sur quatre sites situés dans les Hauts Plateaux algériens [9]
- ❖ En utilisant le logiciel WAsP, Mazidi et Boudia et Guerri (2016) ont effectué une analyse détaillée des ressources éoliennes disponible dans deux régions algériennes, Adrar et Bou Ismail. L'objet de cette étude effectuée une comparaison des performances d'un système de pompage éolienne dans ces deux différentes régions [10]

### 1.4. Energie éoliennes :

Cette énergie produite par la force exercée par le vent sur les pales d'une hélice. Cette hélice est sur un arbre qui est relié à un système mécanique qui sert à moulinier le grain ou à pomper de l'eau ; soit un générateur qui transforme l'énergie mécanique en énergie électrique [11]

### 1.5. Fonctionnement d'une éolienne :

Le fonctionnement d'une éolienne est très simple : le vent fait tourner les pales qui entraîne la rotation de l'axe lui-même relié à un générateur ; ce dernier produit alors de l'électricité en courant continu qui est ensuite converti en courant alternatif pour alimenter les maisons ou pomper de l'eau potable (Les Éoliennes : avantages et inconvénients) [12].

#### 1.5.1. Les constituants d'une éolienne :

Les éoliennes à axe horizontal contiennent les éléments suivants : (figure 1.2)

- **Le rotor** : partie rotative de l'éolienne placée en hauteur afin de capter des vents forts et réguliers. Il est composé de pales (en général 3) en matériau composite qui sont mises en mouvement par l'énergie cinétique du vent. Reliées par un moyeu, ces dernières peuvent en moyenne mesurer chacune 25 à 60 m de long et tourner à une vitesse de 5 à 25 tours par minute.
- **La nacelle** : structure soutenue par le mât abritant les différents éléments mécaniques. On distingue les éoliennes à entraînement direct de celles équipées de train d'engrenages (multiplicateur/réducteur) selon le type d'alternateur utilisé. Les alternateurs classiques requièrent une adaptation de la vitesse de rotation par rapport au mouvement initial du rotor.
- **La tour** : composée du mât, du système de commande électrique et du transformateur. Généralement de forme conique, le mât supporte la nacelle. Il mesure entre 50 et 130 m de haut et a un diamètre à son pied compris entre 4 et 7 m. Une ouverture en bas du mât permet d'accéder aux différents équipements de l'éolienne parmi lesquels le transformateur qui permet d'augmenter la tension de l'électricité produite afin de l'injecter sur le réseau.
- **La base** : souvent circulaire et en béton armé dans le cas des éoliennes terrestres, qui permet de maintenir la structure globale.

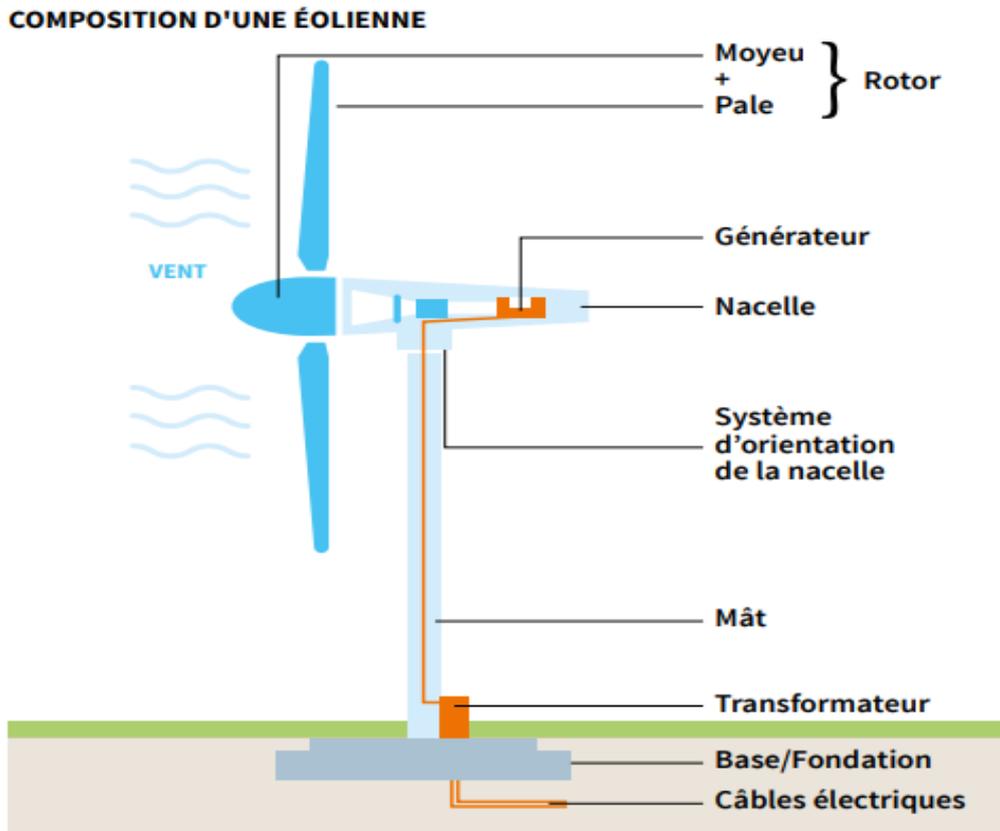


Figure 1.2 : composition d'une éolienne a axe horizontale (Mathieu Clabaut 2006)

### 1.6. Classification des éoliennes :

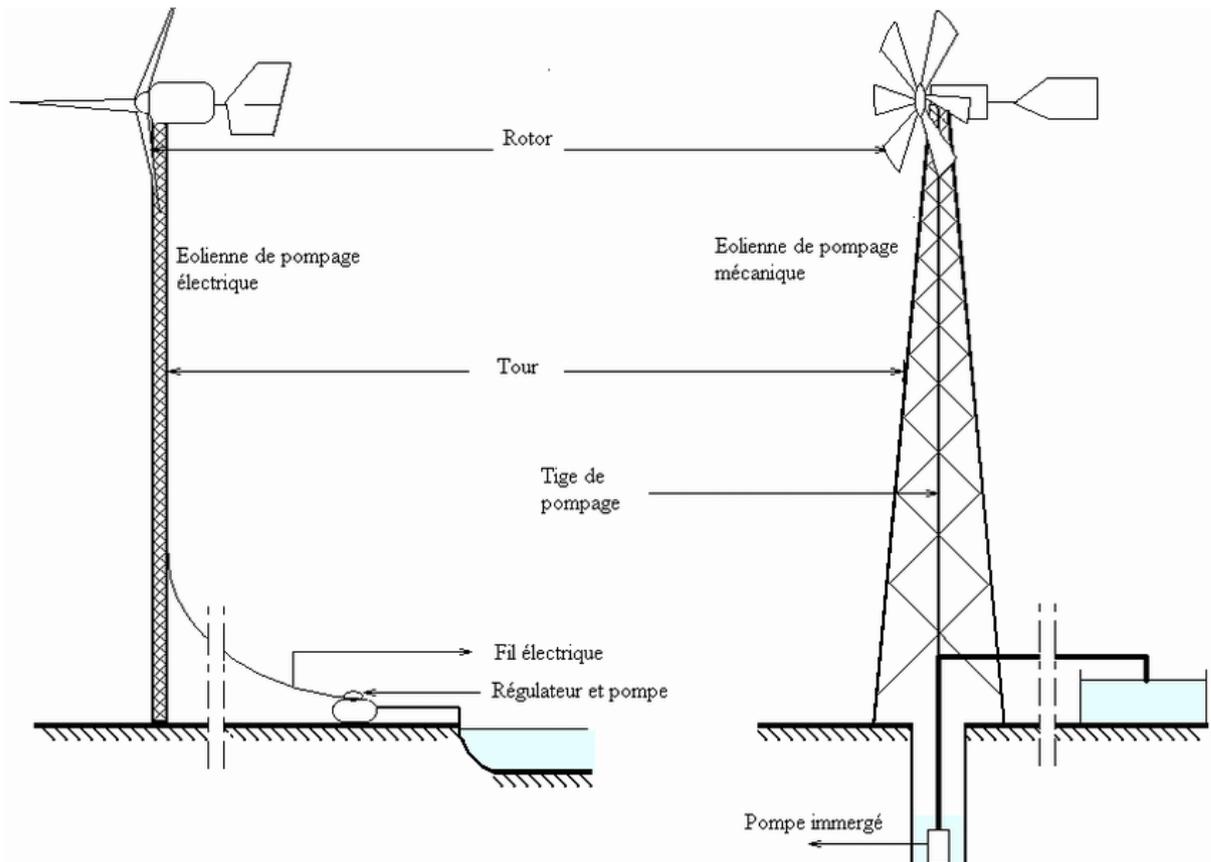
On peut classer les éoliennes selon leur utilisation, selon l'orientation de l'axe de rotation ou selon le principe de fonctionnement

#### 1.6.1. Classification selon leur utilisation :

Les éoliennes exploitent l'énergie du vent pour l'utiliser en deux manières : **figure (1.3)**

- Conservation de l'énergie mécanique : le vent est utilisé pour faire avancer un véhicule (navire à voile par exemple), pour pomper l'eau (moulins de Majorque, éoliennes de Pompage pour irriguer par exemple) ou pour faire tourner un moulin.

- Production d'énergie électrique : la turbine est couplée à un générateur électrique pour produire du courant. Le générateur est relié à un réseau électrique ou à un système autonome ou à un dispositif de stockage d'énergie.



**Figure 1.3 :** Représentation schématique des systèmes éoliens mécanique et électrique pour le Pompage de l'eau [13].

### 1.6.2. Classification selon leur mode de fonctionnement :

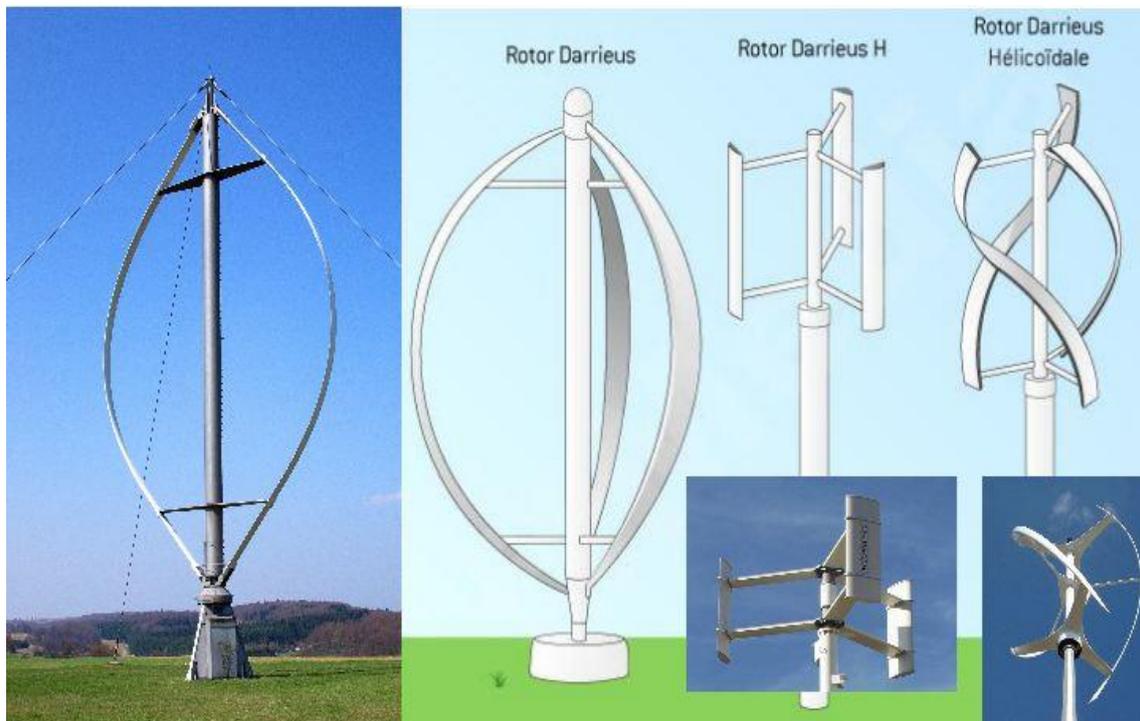
Du point de vue conception, les éoliennes peuvent être classées en deux catégories selon l'orientation de leur axe de rotation par rapport à la direction du vent. On distingue : les éoliennes à axe vertical (VAWT : vertical axis Wind turbine) et les éoliennes à axe horizontal (HAWT : horizontal axis Wind turbine) [14].

#### 1.6.2.1 Les éoliennes à axe verticale :

L'éolienne verticale est munie de pales qui tournent au tour d'une tige positionnée elle aussi d'une manière verticale ; d'une autre façon l'axe de rotation est perpendiculaire à la direction de la vitesse de vent. Elle est moins répandue que l'horizontale ; leurs avantages sont que le générateur électrique est déposé au pied de l'éolienne ; ceci offre plus de praticité pour l'entretien et réparation, aussi moins encombrante on peut le placé sur le toit ou près d'une habitation plus que ces éoliennes ne nécessitent pas de dispositif d'orientation.

Les types d'éoliennes à axe verticale les plus courantes sont : l'éolienne Darrieus et l'éolienne Savonius.

- L'éolienne Darrieus a été inventée en 1931 par Georges Darrieus (ingénieur en aéronautique français) ; elle peut être munie de plusieurs paires de pales ou ces dernières peuvent être positionnées cylindrique ou en H.
- L'éolienne Savonius a été inventée en 1920 par Sigurd Savonius avant de déposer son brevet en 1929. Elle est constituée de deux demi-cylindres excentrés dont la rotation est actionnée par la force de traînée et elle peut être activée par des vents faibles.



**Figure 1.4 :** Différentes formes d'éolienne Darrieus [31]



**Figure 1.5 :** Eolienne de type Savonius [15]

### 1.6.2.2 Les éoliennes à axe horizontal :

Le fonctionnement des éoliennes à axe horizontal se rapproche de celui des moulins à vent. Leur axe de rotation est parallèle à la direction du vent et ce sont les éoliennes les plus utilisées car leur rendement est supérieur à celui des éoliennes à axe verticale.

Selon le nombre de pales que compte l'hélice, on distingue les éoliennes multi-pales lentes, principalement utilisées pour le pompage de l'eau et les éoliennes rapides à une, deux ou trois pales (Figure 1.3), destinées à la production d'électricité. Les plus petites éoliennes ont une hauteur de 20 mètres et les plus grandes éoliennes mesurent jusqu'à 160 mètres au bout de pale ; cette hauteur de la nacelle permet de profiter de vent plus fort et plus courant.

Parmi les éoliennes à axe horizontal ; on distingue également deux types d'éoliennes : avale ou amont

-les éolienne avale : cette éolienne fonctionne sous le vent ; c'est-à-dire le vent souffle sur l'arrière des pales

-les éoliennes aval : cette éolienne fonctionne face à vent c'est-à-dire le vent souffle directement sur les pales de l'éolienne. Ce type de configuration requiert des pales rigides qui permettent de bien résister au vent car celles-ci sont plus exposées



Figure 1.6 : Première ferme éolienne a axe horizontal en Algérie a adrar 2014 [32]

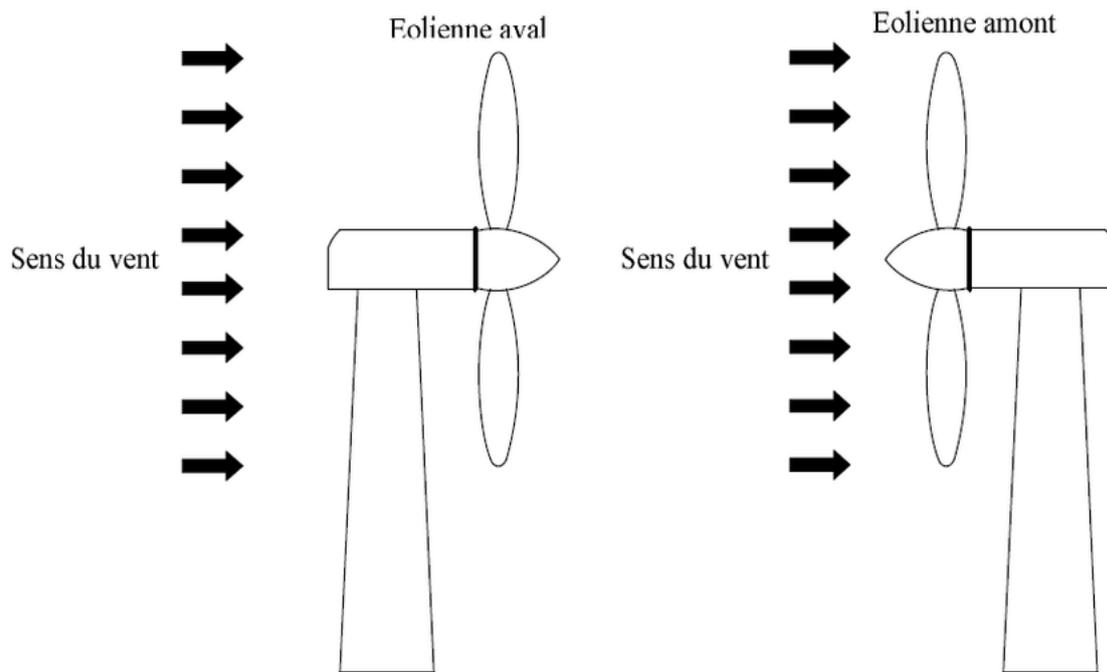


Figure 1.7 : Eoliennes types amont et aval.

### 1.6.3. Classification des éoliennes selon leur puissance :

Le tableau (1.1) propose une classification de ces turbines selon la puissance qu'elles délivrent et le diamètre de leur hélice et aussi leur surface balayée.

Selon la norme CEI 61400 il y a deux grandes classes d'éoliennes : les petites éoliennes, dont la surface balayée par les pales est inférieure à 200 m<sup>2</sup> ce qui correspond à une puissance nominale maximale de 50 kW et les grandes éoliennes mais d'après le tableau (1.1) on peut trouver d'autre classification avec même principe : puissance nominale et la surface balayée.

**Tableau 1.1** : Classification des éoliennes selon leur puissance [16]

Taille de l'éolienne	Diamètre (m)	Surface balayées (m <sup>2</sup> )	Puissance (KW)
Mini	1.25 à 3	1.2 à 7.1	0.4 à 2
Domestique	3 à 10	7 à 79	2 à 30
Petite	10 à 20	79 à 314	30 à 120
Moyen	20 à 50	314 à 1963	120 à 750
Grande	50 à 100	1 963 à 7854	750 à 3000
<b>Grande commerciale</b>	<b>100 à 170</b>	<b>7854 à 22686</b>	<b>3000 à 8000</b>

Pour être plus parlant, on trouve classiquement ces éoliennes pour les applications suivantes :

- **Micro-éoliennes** : en général pour couvrir des besoins très limités et sites isolés (par exemple, des sites de pêche, des bateaux, des caravanes).
- **Mini-éoliennes** : essentiellement pour recharger des batteries sur des sites isolés du réseau, les plus puissantes peuvent servir pour l'alimentation domestique hors du réseau (maisons isolées).
- **Eoliennes domestiques** : elles balayent un spectre assez large allant de rotors de 3 à 10 m de diamètre. C'est typiquement le genre d'éoliennes proposées pour les particuliers.

- **Petites éoliennes commerciales** : elles sont typiquement conçues pour les petites entreprises, les fermes, ... mais il existe très peu de modèles produits dans cette gamme.
- **Moyennes éoliennes commerciales** : elles sont typiquement utilisées pour les applications commerciales dans des fermes, des usines, des entreprises voire des petits parcs éoliens.
- **Eoliennes grands commerciales** : ce sont les éoliennes que l'on trouve dans les parcs éoliens modernes, ce sont aussi les plus efficaces.
- **Eoliennes commerciales géantes** : ce sont les éoliennes que l'on trouve dans les parcs éoliens modernes et également en offshore, elles sont très efficaces et issues des dernières générations technologiques.

### 1.7.1. La capacité éolienne mondiale :

Selon les statistiques publiées par l'association mondiale de l'énergie éolienne (WWEA), le monde a achevé un nouveau record dans les nouvelles installations éoliennes en 2020 par ajoutant 93 gigawatts. Certains pays ont des nouveaux records comme : China, USA and russisa ; tandis que les marchés européens n'ont connu qu'une croissance modeste.

Le marché mondial des nouvelles turbines a atteint un volume total de 93 gigawatts, environ 50% de plus que l'année précédente 2019 et plus que jamais installés en un an. La capacité totale de tous les parcs éoliens dans le monde atteint désormais 744 gigawatts, ce qui est suffisant pour générer 7% de la demande mondiale d'électricité

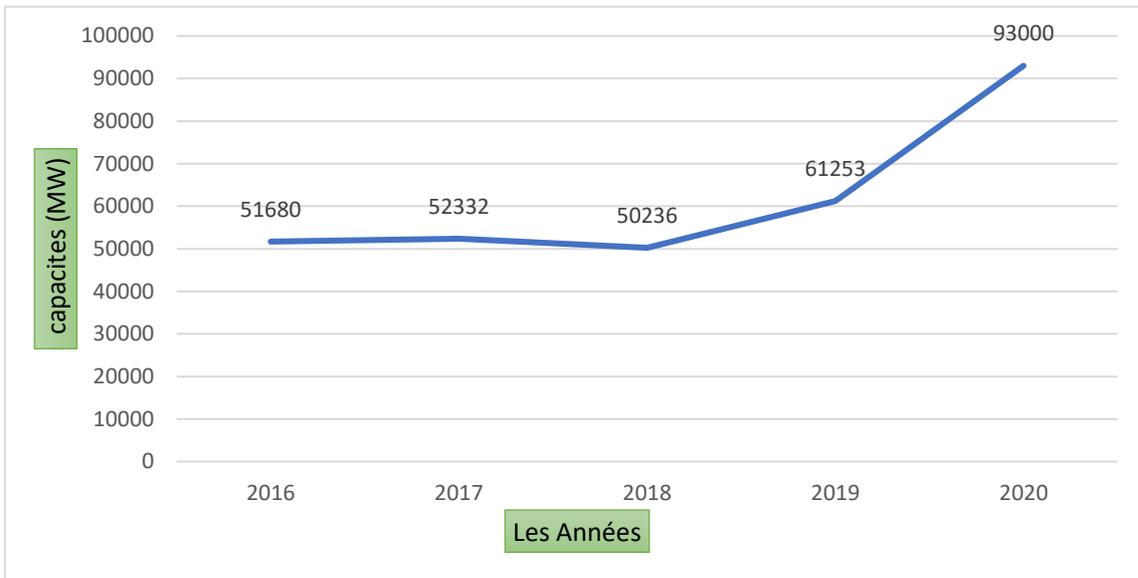


Figure 1.8 : Evolution de la capacité éolienne mondiale installée de 2016 à 2020, En MW [16]

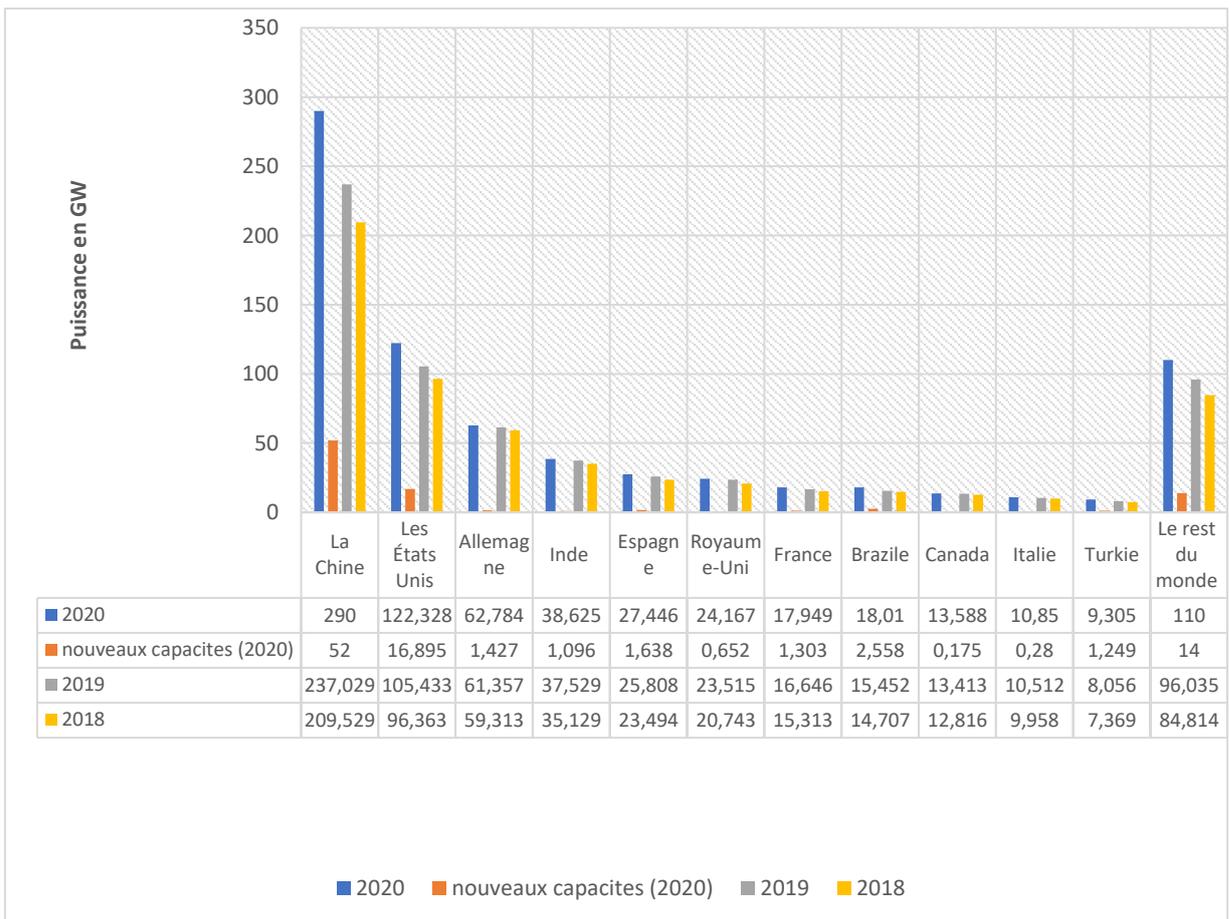


Figure 1.9 : Evolution de la production d'électricité d'origine éolienne dans les 11 pays leaders, En GW [17]

La Chine était toujours dans une classe à part et a construit environ 52 gigawatts en un an, ce qui correspond à une part de marché de 56%. Avec cet ajout, la Chine a désormais installé une capacité éolienne de 289 gigawatts, soit 39% de la capacité mondiale.

Le marché américain s'est également développé de manière extraordinaire et a augmenté de près de 17 gigawatts en 2020. Avec ce nouveau record et des parcs éoliens totalisant 122 gigawatts, les États-Unis ont incontestablement consolidé leur position de numéro 2 mondial.

Il n'y a eu pratiquement aucun changement parmi les dix principaux marchés de l'énergie éolienne. Le Brésil est passé de la position 8 à 7, avec un volume de marché robuste de 2,5 gigawatts (total : 18 gigawatts), tandis que la France est passée de 7 à 8.

Le nouveau venu de l'année est sans aucun doute la Russie qui a triplé sa capacité éolienne installée de 312 mégawatts à 1027 mégawatts et, après s'être classée 53e fin 2019, a atteint la 37e place sur le marché de l'énergie éolienne. La République de Corée (33e au 30e) ainsi que l'Argentine (30e au 27e) ont toutes deux grimpé de trois places.

### 1.7.2 L'éolien en Algérie :

La première tentative de raccordement d'une éolienne au réseau de distribution d'énergie électrique date de 1957, avec l'installation d'un aérogénérateur de 100 kW sur le site des Grands Vents (Alger). Inventé par l'Ingénieur français ANDREAU, ce prototype avait été installé initialement à St-Alban en Angleterre. C'est un bipale de type pneumatique à pas variable de 30 m de haut avec un diamètre de 25 m, qui fut racheté par Électricité et Gaz d'Algérie, puis démonté et installé en Algérie. D'autres éoliennes ont été installées différents sites, notamment pour l'alimentation énergétique de localités isolées ou d'accès difficiles, telles que les installations de relais de télécommunications. Cependant, la technologie des éoliennes n'étant pas encore mature, ces expériences n'ont pas été concluantes. Ce constat était également valable même à l'échelle internationale [18]. Mais actuellement, il y a un regain d'intérêt pour les énergies renouvelables. Dans ce contexte, un premier parc éolien a été installé à Adrar en Juin 2014. Cette centrale de production d'électricité, première du genre à l'échelle nationale, d'une capacité de 10.2 MW, est implantée sur une superficie de 30 hectares, dans la zone de Kaberten, à 72km au nord de la wilaya d'Adrar. Elle est constituée de 12 éoliennes disposées en une seule rangée face à la direction des vents dominants



**Figure 1.10** : Photo satellite de la ferme éolienne de Kaberten (Adrar) (source : google map)

Les éoliennes de Kaberten sont du type GAMESA G52-850 KW (Figure 1.11), de 850 kW de puissance et 52 m de diamètre. Les aérogénérateurs sont installés sur un mât de 55 m de hauteur et la distance entre chaque éolienne est de 250 m soit 4 fois le diamètre des éoliennes.



**Figure 1.11** : Aérogénérateur GAMESA G52-850 KW

-Les vitesses de vent caractéristiques de ces éoliennes sont : [33]

- Vitesse de démarrage :  $V_d = 4$  [m/s]
- Vitesse nominale :  $V_n = 15$  [m/s]
- Vitesse d'arrêt :  $V_s = 25$  [m/s]

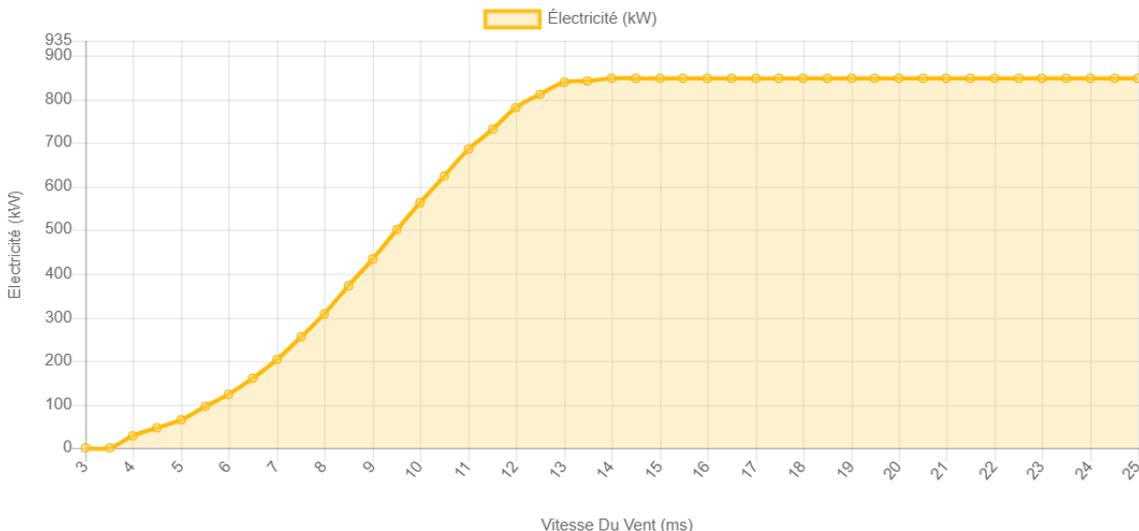
Les vitesses  $V_n$ ,  $V_d$  et  $V_s$  définissent quatre zones sur le diagramme de la puissance utile en fonction de la vitesse du vent :

- la zone 1 : de 0 à 4 (m/s) où  $P = 0$  (la turbine ne fonctionne pas),

-La zone 2 : de 4 à 15 (m/s) , dans laquelle la puissance fournie sur l'arbre dépend de la vitesse du vent .

- la zone3 : de 15 à 25 (m/s) où généralement la vitesse de rotation est maintenue constante par un dispositif de régulation et où la puissance turbine fournie reste sensiblement égale à  $P_n$  .

- la zone 4 : dans laquelle le système de sûreté du fonctionnement arrête la rotation et le Transfert de l'énergie.



**Figure 1.12 :** La courbe de puissance pour Gamesa G52-850 KW

### Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté un état de l'art de l'énergie éolienne les caractéristiques principales des éoliennes, les différents types d'utilisation et d'application.

---

***Chapitre 2 : Modèles Mathématiques Et les  
Données utilisées***

---

### Introduction :

Ces travaux ont été réalisés en utilisant le logiciel Wasp pour l'étude statistique de la distribution des vitesses de vent dans les sites d'In Salah et Tébessa, En utilisant les données météorologiques de mesures des stations de l'O.N.M (Office nationale de la météorologie). Cette analyse de ces données nous a permis de déterminer l'énergie annuelle fournie pour l'application de pompage éolien de l'eau. Dans ce qui suit une brève présentation de logiciel Wasp, les approches appliquées pour l'estimation du potentiel éolien disponible et le calcul de l'énergie annuelle produite ensuite la méthode retenue pour l'estimation du débit journalier par le système de pompage dans les deux régions.

### 1.1. Présentation du Wasp :

Le logiciel Wasp (Wind Analysis and Application Programme) est un programme qui a été développée par le Département de l'énergie éolienne de l'Université technique du Danemark, Il comprend un module de traitement statistique des données du vent, un module d'extrapolations horizontale et verticale des données vent, en tenant compte des effets des obstacles, de la rugosité du sol et de la topographie de la région et un module de calcul de l'énergie annuelle produite (AEP) par un parc éolien installé dans la région étudiée.

### 1.2. Modèles statiques de l'analyse de vent :

L'analyse statistique des données vent est effectuée à l'aide de l'utilitaire Observed Wind Climate (OWC) du Wasp qui est basé sur la distribution statistique de Weibull

La loi de Weibull permet de caractériser la distribution fréquentielle des vitesses moyennes de vent sur une période donnée. Elle est définie par l'équation suivante [20] :

$$f(v) = \left(\frac{K}{A}\right) \left(\frac{v}{A}\right)^{K-1} \exp\left(-\left(\frac{v}{A}\right)^K\right) \quad (2.1)$$

- K est le facteur de forme, il caractérise la dispersion des vitesses de vent (paramètre adimensionnel).
- A est un facteur d'échelle. Il ne renseigne sur la vitesse moyenne du vent dans la région étudiée.

Le calcul de ces deux paramètres est indispensable pour chaque site étudié.

Plusieurs méthodes ont été utilisées pour déterminer ces deux paramètres parmi ces méthodes sont citées :

- ✓ Méthode des moindres carrés (méthode graphique) ;
- ✓ Méthode des moments
- ✓ Méthode du maximum de vraisemblance

### 1.2.1 : Méthode des moindres carrés :

C'est une méthode graphique basée sur la fonction cumulative de Weibull, elle est la méthode la plus simple : [20]

$$F(V \leq V_x) = \int_0^{V_x} f(V) dV = 1 - \exp \left[ - \left( \frac{V_x}{A} \right)^k \right] \quad (2.2)$$

$$F(V \geq V_x) = \int_{V_x}^{\infty} f(V) dV = \left[ - \left( \frac{V_x}{A} \right)^k \right] \quad (2.3)$$

On inclut le logarithme dans les deux parties des équations (2.2) et (2.3) on obtient :

$$\log(-\log f(V \geq V_x)) = K \log V_x - K \log A \quad (2.4)$$

En posant  $Y = \log(-\log f(V \geq V_x))$  et  $X = \log V_x$ , on obtient un système d'équation linéaire :

$$Y=KX+B \quad \text{avec} \quad B=-K \log A \quad (2.5)$$

On obtient donc le facteur  $k$  qui représente la pente de la droite et le produit  $(-K \log C)$  qui représente l'ordonnée à l'origine.

### 1.2.2 : Méthode des moments :

Cette méthode est l'une des plus utilisées pour la détermination de ces deux paramètres. C'est une approche itérative. On commence par estimer la vitesse moyenne et l'écart type  $\sigma$  à l'aide des relations suivantes [21] :

$$V_{\text{moy}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_i \quad (2.6)$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n V_i^2 - V_{\text{moy}}^2 \quad (2.7)$$

Les deux paramètres sont ensuite déterminés par :

$$k = \left( \frac{\sigma}{V_m} \right)^{1.086} \quad (2.8)$$

$$A = \frac{V_{\text{moy}}}{\Gamma \left( 1 + \frac{1}{k} \right)} \quad (2.9)$$

**1.2.3 : Méthode de maximum de vraisemblance :**

Avec la méthode du maximum de vraisemblance (MLM) les paramètres de Wei bull dont déterminés à des équations suivantes [22]

$$A = \left[ \left[ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N V_i^k \right] \right]^{\frac{1}{k}} \quad (2.10)$$

$$k = \left[ \frac{1}{A^k} \sum_{i=1}^N V_i^k \ln V_i - \sum_{i=1}^N \ln V_i \right]^{-1} \quad (2.11)$$

**1.2.4 : Méthode implémentée dans l'utilitaire OWC du logiciel Wasp :**

Selon Petersen (1991), les paramètres de Wei bull sont déterminés en utilisant les valeurs moyennes de la vitesse du vent et de son carré :

$$V(\text{moy}) = A \cdot \Gamma(1 + 1/K) \quad (2.12)$$

$$V^2 = A^2 \cdot \Gamma(1 + 1/K) \quad (2.13)$$

- $V_{\text{moy}}$  : la vitesse moyenne
- $V^2$  : la valeur carrée de la vitesse du vent
- Les paramètres K et A sont solutions des équations (2.12) et (2.13) qui sont tabulées

- Première table donne la valeur du paramètre K en fonction du rapport  $(V_m)^2/V^2$
- La relation (2.13) est appliquée pour déterminer A

Pour les régions où la rugosité n'est pas identique dans tous les secteurs, les paramètres de k et A sont déterminés pour chaque secteur. La vitesse moyenne et le carré de la vitesse sont alors déterminés avec les relations suivantes :

$$V_{moy} = f_1 V_{1 moy} + f_2 V_{2 moy} + \dots + f_{16} V_{16 moy} \quad (2.14)$$

$$V^2 = f_1 V_1^2 + f_2 V_2^2 + \dots + f_{16} V_{16}^2 \quad (2.15)$$

$f_1$  et  $f_2, \dots, f_{16}$  : les fréquences du vent du premier secteur au dernier secteur.

Les paramètres de Wei bull correspondant à la distribution totale sont ensuite estimés en utilisant les expressions :

$$V_{moy} = A \cdot \Gamma \left( 1 + \frac{1}{K} \right) \quad (2.16)$$

La densité de puissance disponible  $P_{moy}$  en fonction de la vitesse moyenne du vent  $V_{moy}$  est exprimée comme suit [23] :

$$P_{moy} = \frac{1}{2} \rho V_{moy}^3 \quad (2.17)$$

La densité de puissance moyenne peut être exprimée en fonction des paramètres de Wei bull pour chaque secteur. Pour la distribution globale, elle est donnée par la relation :

$$P_{moy} = \frac{\sum_1^{16} f_i P_i}{\sum_1^{16} f_i} \quad (2.18)$$

### 1.3. Performance de l'éolienne détermine par le Wasp :

Pour l'évaluation de la puissance utile, on utilise les courbes caractéristiques de l'éolienne qui représentent la variation de la puissance à la sortie d'un aérogénérateur en fonction de la vitesse du vent et la fonction de distribution de probabilité de la vitesse du vent [24]. En tenant compte des différents cycles de fonctionnement de l'aérogénérateur, l'expression de la puissance fournie s'écrit :

$$P_e = \int_{V_d}^{V_n} P(V) f(V) + P_n \int_{V_n}^{V_s} f(V) dV \quad (2.19)$$

Où :

- $V_d$  = la vitesse de démarrage.
- $V_n$  = la vitesse nominale.
- $V_s$  = la vitesse d'arrêt.
- $P_n$  = la puissance nominale.

La relation (2.19) exprime la puissance moyenne brute à la sortie de l'éolienne, sans tenir compte des différentes pertes qui influent sur les performances de l'aérogénérateur telles que :

- Les pertes aérodynamiques dues à l'interférence entre les éoliennes ou l'effet de sillage,
- Les pertes électriques dans les transformateurs et les pertes dues à la résistance des câbles électriques de raccordements
- Les pertes d'énergie quand la turbine est hors ligne pour les raisons de maintenance ou réparation

### 1.3.1 L'énergie annuelle produite : (AEP)

L'expression du AEP est :

$$AEP = P_e \cdot T \quad (2.20)$$

Où T est le temps de la production de la ferme qui est égal 8760 heures pour un an.

### 2. Estimation du débit moyen fourni : [10]

Le débit moyen fourni par le système est donné par la relation suivante :

$$Q = \frac{\eta \cdot P}{\rho_e \cdot g \cdot H_m} \quad (2.21)$$

Le débit journalier d'eau pompé est donné par :

$$Q = 3600 * 24 * \frac{\eta_i \langle P_e \rangle}{\rho_e g H_m} \quad (2.22)$$

Avec :

$\eta$  : rendement de la pompe= 0.55 dans notre cas.

P : puissance moyenne fourni par l'éolienne.

$H_m$  : hauteur manométrique.

g : intensité moyenne de la pesanteur (9.81m/s<sup>2</sup>).

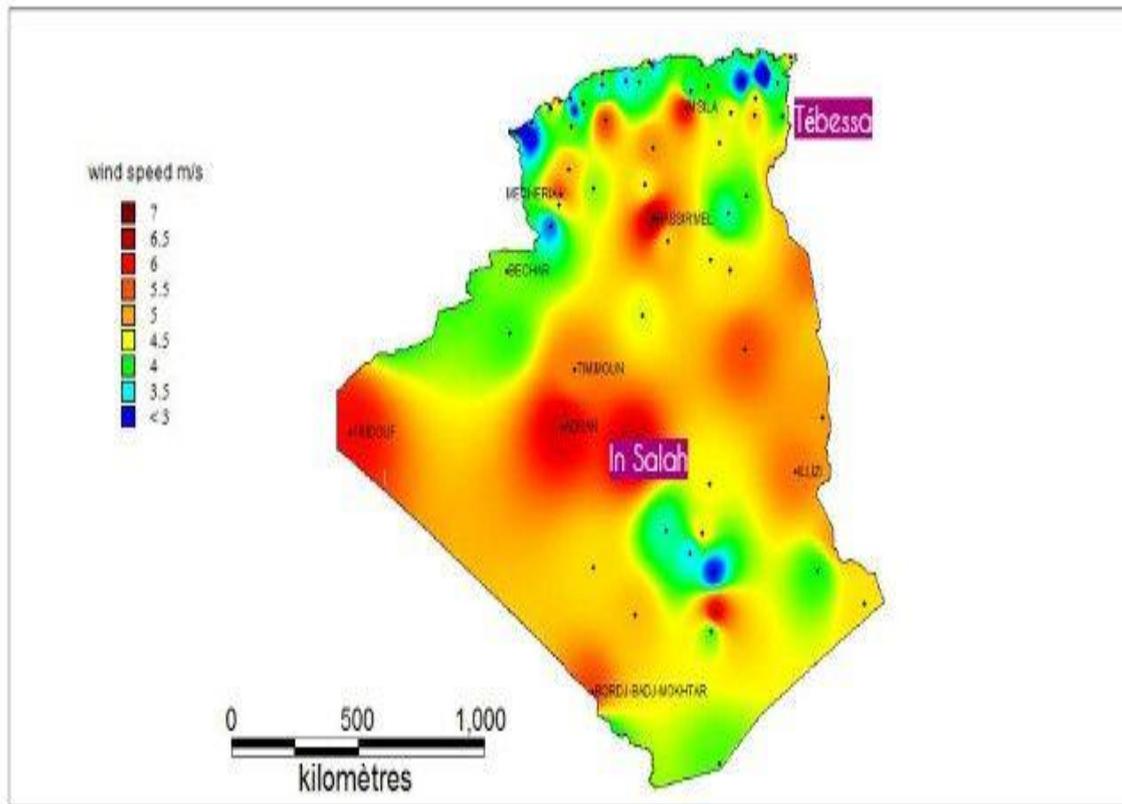
$\rho_e$  : masse volumique de l'eau (1000Kg/m<sup>3</sup>).

### 3. Données utilisées :

Cette étude est appliquée à deux régions, qui sont Tébessa et In Salah. Les données utilisées sont les données vents (vitesse et direction relevées au niveau des stations métrologiques de l'Office National de la Météorologie (O.N.M.) implantées dans les régions considérées, les données géographiques (cartes topographiques et longueurs de rugosité) et les données relatives à l'éolienne utilisé.

### 3.1. Choix des sites d'implantation des machines :

Le choix est porté sur deux sites algériens, (Tébessa et In Salah). Les deux régions sont caractérisées par un potentiel énergétique éolien intéressant [25], [26],[27]. Les localisations des deux sites étudiés sont indiquées par un cercle dans la figure (2.1) qui représente la carte des vitesses de vent de l'Algérie à 10 mètres du sol [28]



**Figure (2.1)** : Localisation des sites étudiés sur la carte des vitesses de vent de l'Algérie à 10m du sol [29]

### 3.2 Données météorologiques :

Les coordonnées des stations météorologiques de l'Office national de la météorologie (ONM) sont résumées dans le tableau (2.1). Les données de vent utilisées sont des moyennes horaires des mesures collectées à 10 m au-dessus du sol. La période couverte est de 3 ans, du 01/01/2014 au 31/12/2016

**Tableau 2.1** : Situation géographique des stations métrologique

	<b>Longitude</b>	<b>Latitude</b>	<b>Altitude [m]</b>
<b>Ain Salah</b>	<b>02.30E</b>	<b>27.12 N</b>	<b>268</b>
<b>Tébessa</b>	<b>8.116667</b>	<b>35.4</b>	<b>960</b>

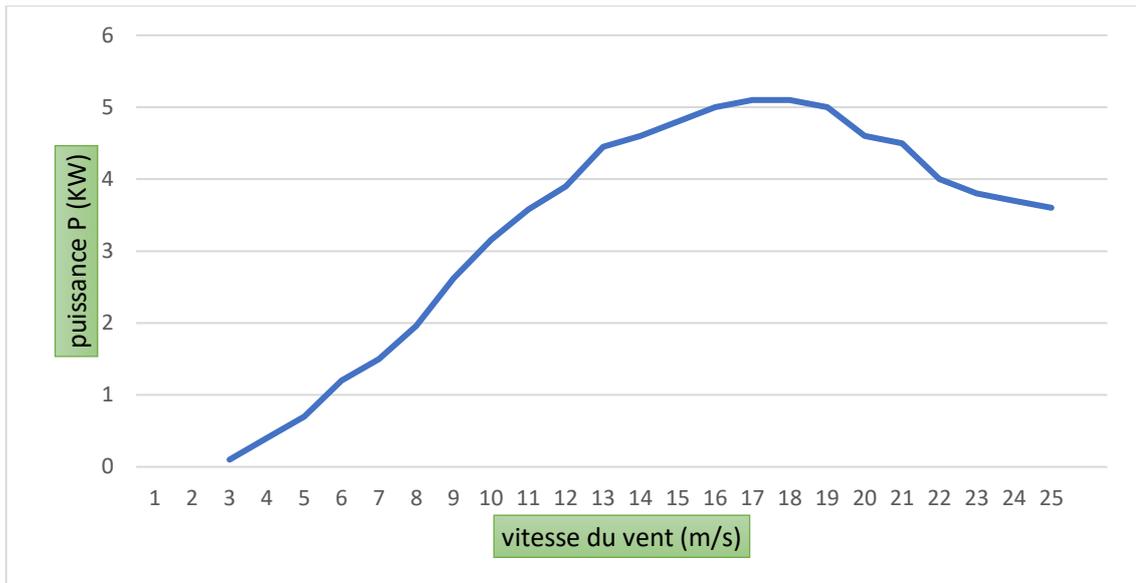
### 3.3. Données relatives à l'éolien utilisée : [30]

L'éolien utilisé dans notre étude est Fortis montana-5 KW a axe horizontale de 3 pales, son type est domestique. Leurs caractéristiques sont définies dans le tableau (2.2)

**Tableau (2.2)** : Caractéristique de Fortis Montana-5 KW

<b>Puissance Estimée</b>	<b>5 KW</b>
<b>Vitesse Limite de vent</b>	<b>&lt;3(m/s)</b>
<b>Vitesse de découpe du vent</b>	<b>&lt;25(m/s)</b>
<b>Vitesse du vent estimée</b>	<b>&lt;17(m/s)</b>
<b>Vitesse maximale du vent</b>	<b>&lt;60(m/s)</b>
<b>Nombre des pales</b>	<b>3</b>
<b>Diamètre du rotor</b>	<b>5.0 m</b>
<b>Poids</b>	<b>200 kg</b>

La courbe de puissance en fonction de la vitesse moyenne de vent de cette éolienne est définie dans la figure (2.2)



**Figure (2.2)** : La courbe de puissance pour Fortis Montana 5KW

### Conclusion :

Dans ce chapitre on a présenté la méthodologie adoptée et les données relative au système météorologique : vitesse et la direction du vent ainsi que les données topographie des deux sites et les données de l'aérogénérateur à installer.

---

***Chapitre 3 :***  
***Résultat et discussion***

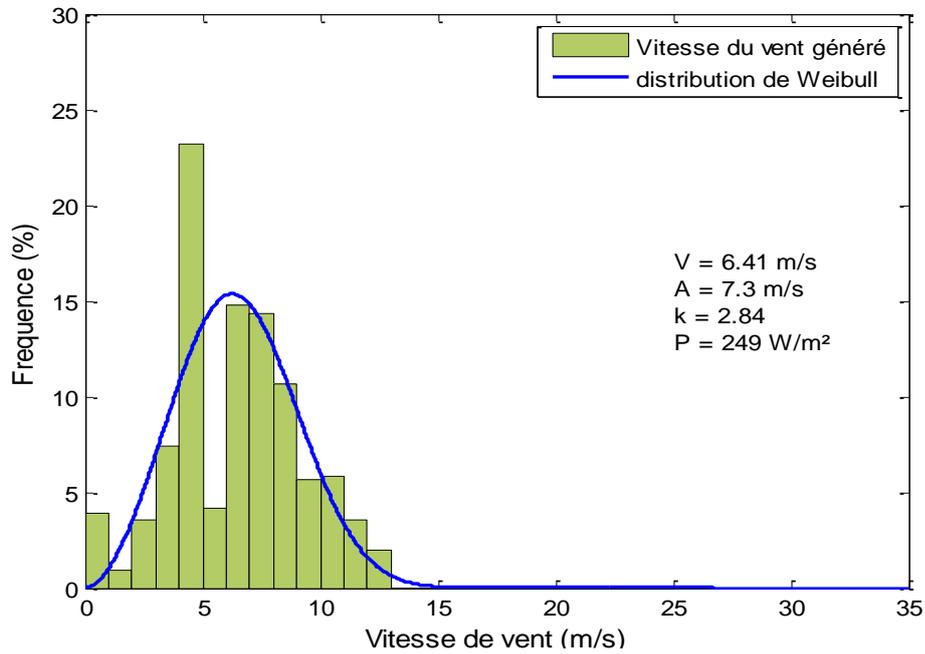
---

**Introduction :**

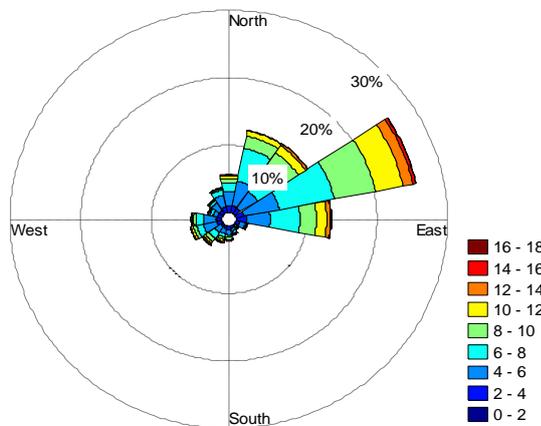
Dans ce chapitre tous les résultats obtenus sont présentés et discutés, ce qui nous a permis de connaître le potentiel du vent disponible dans chaque région (Tébessa et In Salah). Une analyse comparative des résultats obtenus et une application d'un système de pompage éolien entre les deux régions a été mise en évidence.

**3.1 L'Etude statistique des données du vent :**

**3.1.1 Région d'In Salah :**



**Figure 3.1 :** Histogramme des vitesses à 10 m au-dessus du sol. Données 2014-2016 : In Salah



**Figure 3.2 :** Rose des vents à 10 m au-dessus du sol. Données 2014-2016 : In Salah

L’histogramme de la vitesse du vent et la rose des vents déterminés pour la période d’étude entre 2014 au 206 sont représentées dans les figures 3.1 et 3.2. Les résultats obtenus montrent qu’en considérant 3 années de données, la vitesse moyenne du vent est de 6.41 m/s, le facteur de  $k = 2,84$  (Figure 3.1), la direction Nord-Est (NE) est le secteur dominant (Figure 3.2).

### 3.1.2 Région de Tébessa :

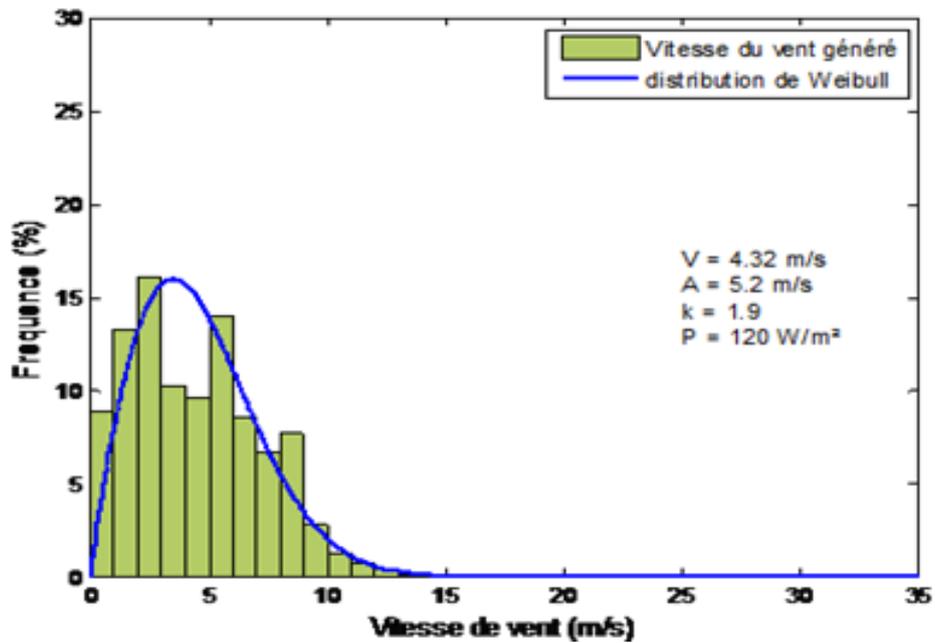


Figure 3.3 :Histogramme des vitesses à 10 m au-dessus du sol. Données 2014-2016 Tébessa

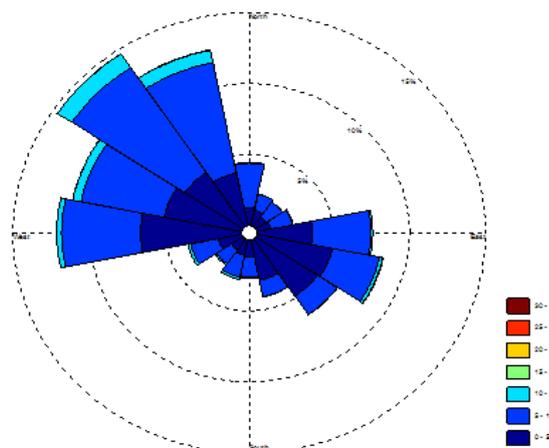


Figure 3.4 : Rose des vents à 10 m au-dessus du sol. Données 2014-2016 Tébessa

L’histogramme de la vitesse du vent et la rose des vents déterminés pour les deux périodes sont représentés dans les figures 3.3 et 3.4. Les résultats obtenus montrent qu’en considérant 3 années de données, la vitesse moyenne du vent est de 4.32 m/s, le facteur de forme  $k = 1.9$  (Figure 3.1), la direction Oust-Nord (ON) est le secteur dominant (Figure 3.4). La comparaison de ces résultats montre que le gisement éolien dans la région d’In Salah est meilleur

### 3.2 Evolution de la vitesse moyenne du vent dans la région « d’In Salah » et « Tébessa », à 10 m au-dessus du sol :

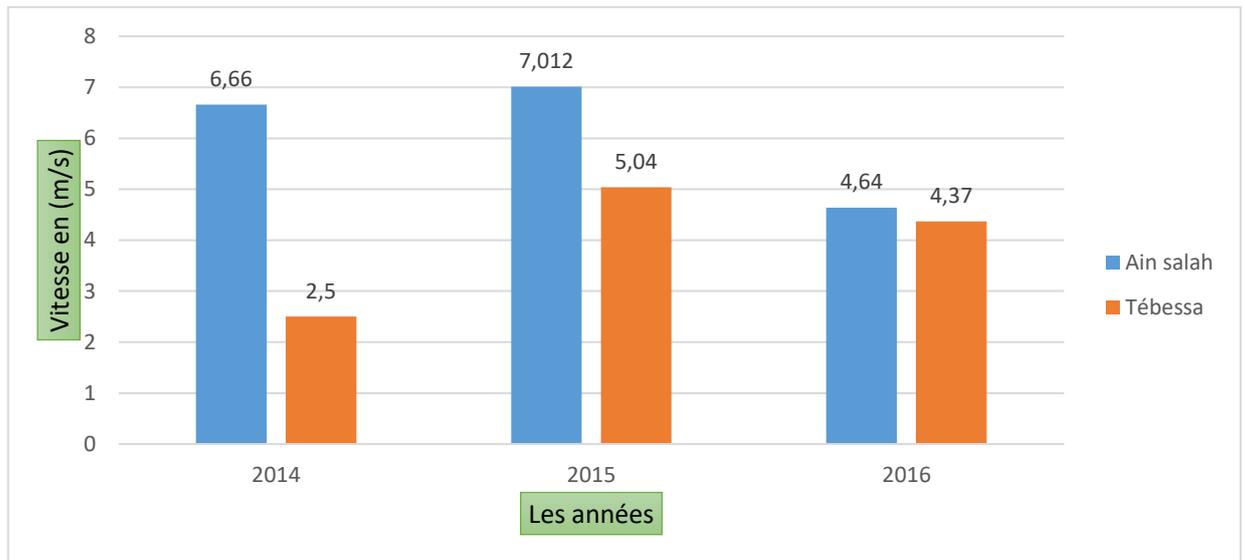


Figure 3.7 : Evolution de la vitesse moyenne annuelle du vent dans la région « d’In Salah » et « Tébessa », à 10 m au-dessus du sol

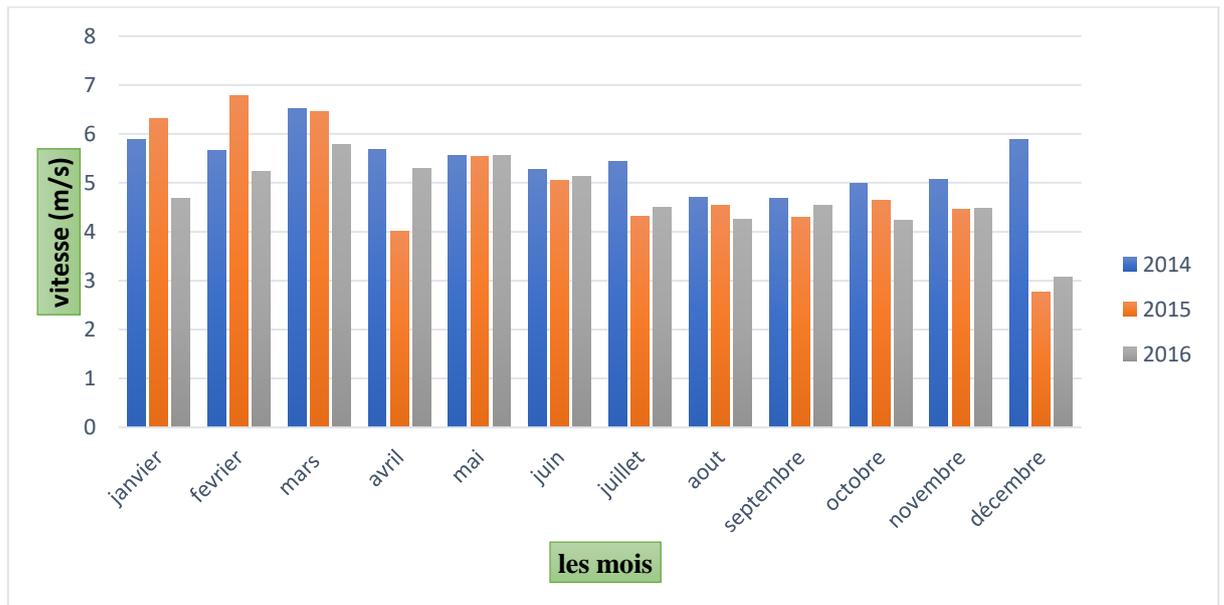


Figure 3.8 : Vitesses moyennes mensuelles du vent de site de Tébessa pour 2014-2015-2016

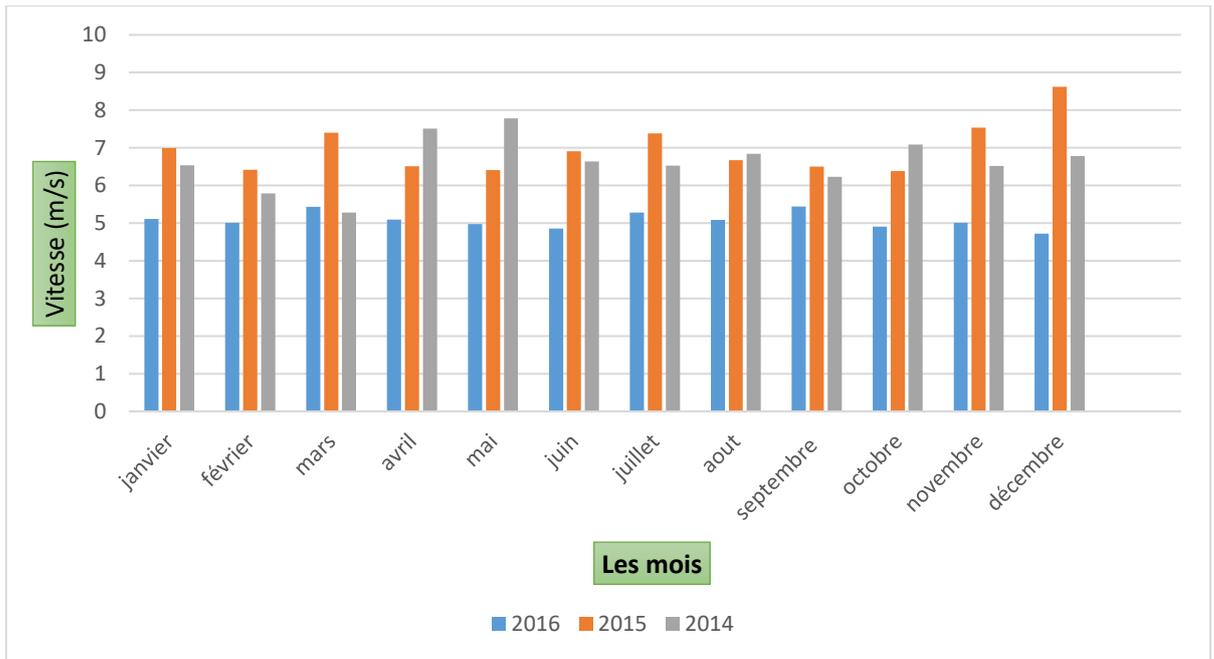


Figure3.9 : Vitesses moyennes mensuelles du vent de site de In Salah pour 2014-2015-2016

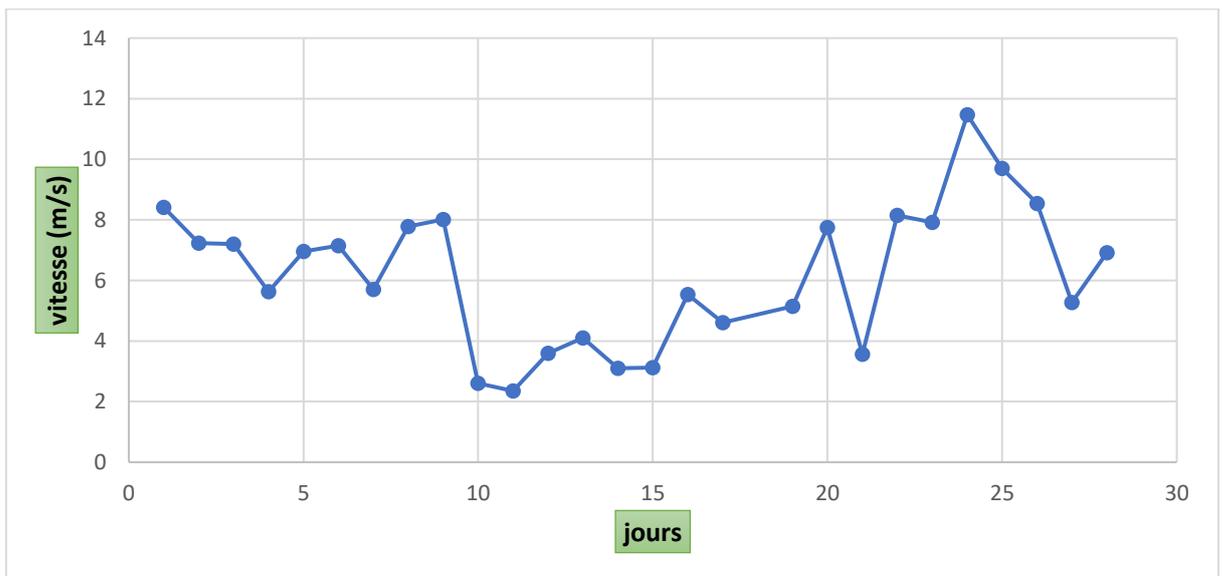


Figure3.10 : Vitesses moyennes journaliers du vent de site de Tébessa pour février 2015

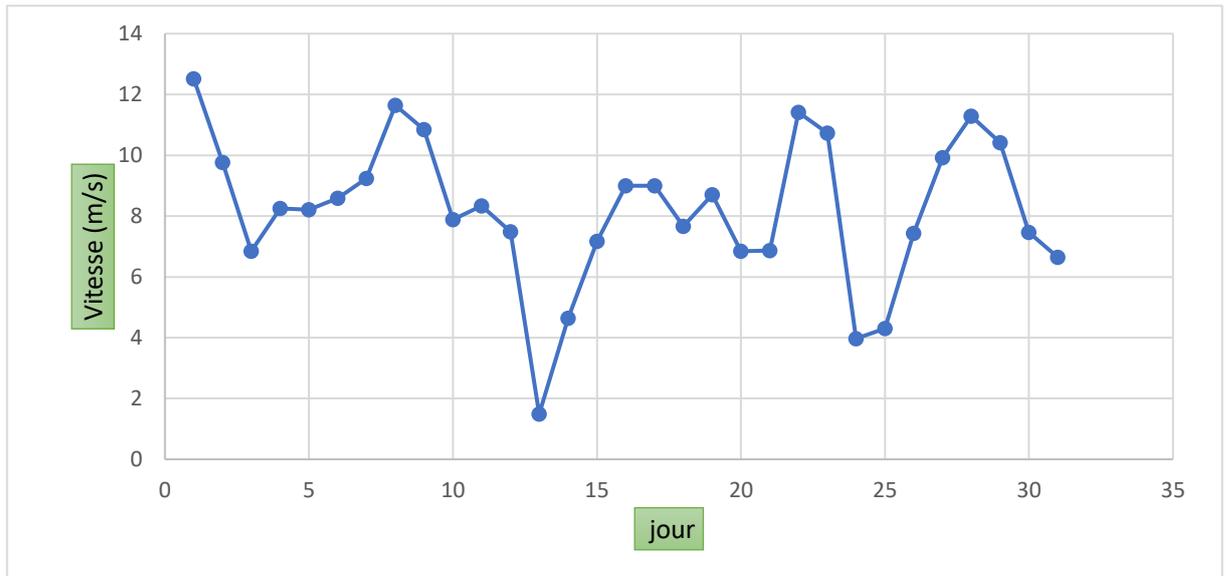


Figure 3.11 : Vitesses moyennes journaliers du vent de site d’In Salah pour Décembre 2015

**Discussion des graphs :**

Les vitesses moyenne du vent calculés nous renseigne sur la qualité des ressources éoliennes disponible dans une région, dans ce qui suit les vitesses moyennes annuelles, mensuelles, journaliers sont représentés dans les figures 3.7 au 3.11.

La Figure 3.7 qui représente l’évaluation de la vitesse moyenne annuelle du vent dans les deux régions, (d’In Salah et Tébessa), à 10 m au-dessus du sol pour les années 2014, 2015 et 2016. Concernant le site d’In Salah la vitesse moyenne maximale est enregistrée avec une valeur qui dépassé légèrement les 7 (m/s) en 2017, pour l’année 2014 la vitesse moyenne enregistrée est de l’autre de 4.64 (m/s). En 2016 la vitesse calculée est de 6.66 (m/s). Dans l’autre site la vitesse moyenne ne dépasse pas les 5 (m/s). Elle est variée entre 2.5 (m/s) en 2014 à 4.37 (m/s) en 2016 avec une valeur maximale de 5.04 (m/s) en 2015.

Une étude détaillée de la variation temporelle de la vitesse moyenne du vent a été effectuée, les figures 3.8, 3.9, 3.10 et 3.11 représentent les vitesses moyennes mensuelles et journaliers du vent durant la période prise en considération dans étude pour les deux régions (In Salah- Tébessa) à 10 m au-dessus du sol. Les résultats obtenus sont très favorables pour l’installation d’un système de pompage éolienne sachant que la vitesse moyenne du vent dépasse les 3 (m/s) pour tous les mois des années 2014. 2015 et 2016.

3.3 Débit d'eau pompé on fonction de hauteur manométrique totale pour les deux sites :

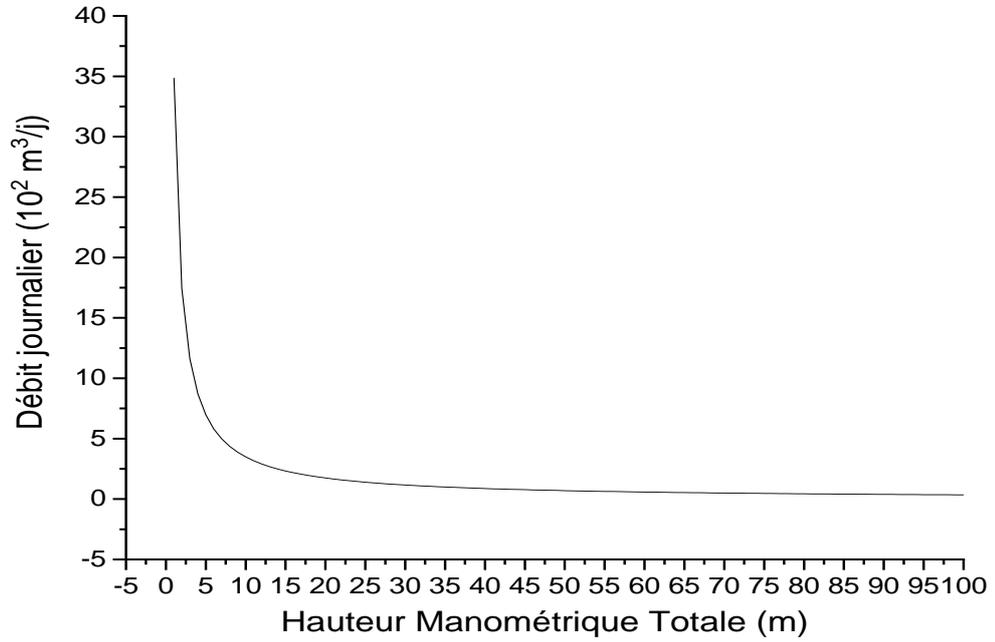


Figure 3.12 : Courbe de débit d'eau journalier en fonction de la hauteur manométrique totale (Tébessa)

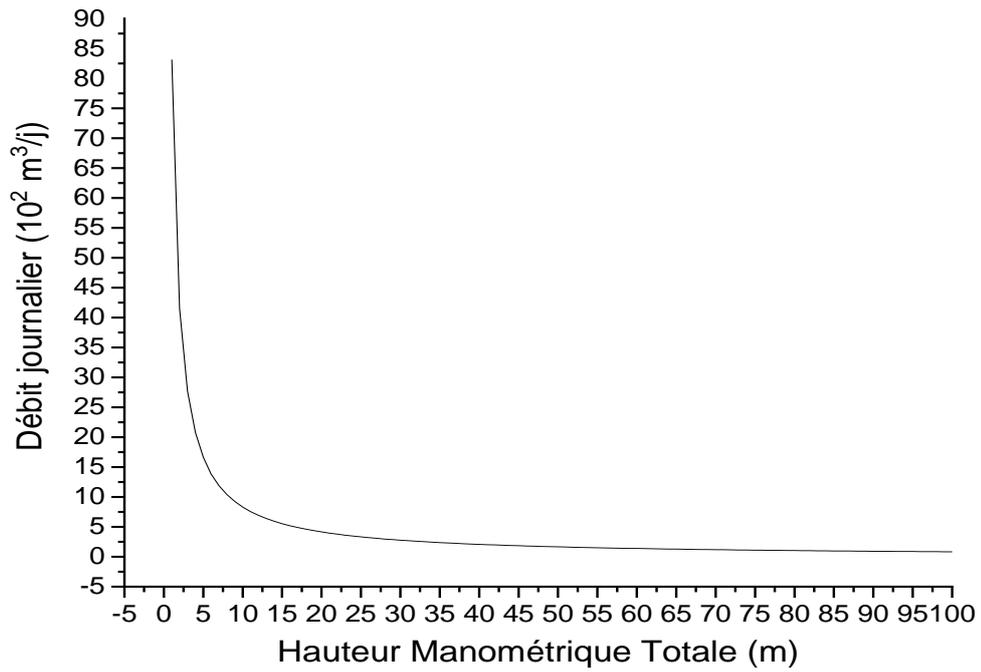


Figure 3.13 : Courbe de débit d'eau journalier en fonction de la hauteur manométrique totale (In Salah)

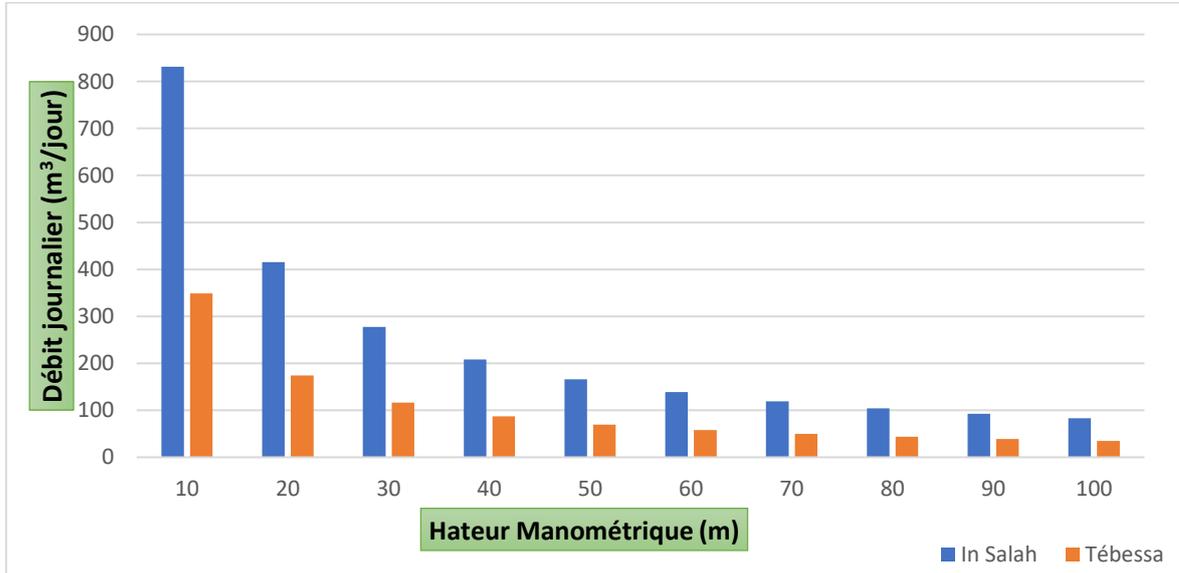


Figure 3.14 : Histogramme de débit d'eau journalier en fonction de la hauteur manométrique totale d'In Salah et Tébessa

Notre système de pompage éolien proposé dans cette étude est composé d'une éolienne de 5 kW de type domestique, leurs caractéristiques sont représentées dans le tableau (2.2). L'éolienne est théoriquement installée dans les zones ventées choisies à In Salah, Tébessa. Une pompe émergée de rendement 0,55 est ajoutée pour la confection de système de pompage dans les deux régions.

En fonction de la variation des hauteurs manométriques le débit journalier pompé a été estimé.

Les résultats obtenus sont représentés dans les figures (3.12 et 3.13).

Sur une hauteur manométrique de 26 et 76 mètres au niveau du site d'In Salah, le débit journalier fourni est varié entre  $319.77(m^3/jour)$  et  $109.39(m^3/jour)$  respectivement. Comparons ces résultats pour l'autre site les débits enregistrés varient entre  $134.12(m^3/jour)$  et  $45.88(m^3/jour)$  respectivement pour la région de Tébessa. Ce qui nous permet de conclure ce qui suit :

- On note qu'il existe une relation inverse entre la hauteur et le débit, car plus la hauteur est élevée, plus le débit diminue.
- Pour la même hauteur manométrique le débit d'eau pompé dans la région d'In Salah est presque double par rapport à l'autre site

#### **Conclusion :**

Dans ce chapitre, Les résultats obtenus ont montré que l'installation des systèmes de pompage éolien dans les deux régions est favorable. La région d'In Salah présente un gisement éolien meilleur que le site de Tébessa.

---

## *Conclusion générale*

---

Dans le cadre de la réalisation de mémoire de master, nous avons choisi d'implanter un système de pompage éolien au niveau de deux régions de l'Algérie (Tébessa-In Salah). A cet effet nous avons entrepris d'évaluer en premier lieu le gisement éolien disponible entre 2014 et 2016, et en second lieu la conversion de ce dernier pour l'installation de deux systèmes de pompage. En dernier lieu nous avons comparés les débits journaliers en fonction des paramètres géo-climatiques.

La méthodologie adoptée dans cette étude consistée en l'utilisation du logiciel Wasp qui nous a permis d'évaluer le potentiel éolien disponible dans les deux sites étudiés. Ce dernier nous a permis également de calculer l'énergie annuelle produite (AEP) utilisée pour estimer les débits journaliers de chaque site.

Les résultats obtenus nous permettent de conclure que :

- Pour le site de Tébessa la variation de vitesse moyenne annuelle varie de 2,5 m/s en 2014 à 5,04 m/s en 2015. En concédant que la vitesse minimale du vent pour le fonctionnement de l'aérogénérateur est de 3 m/s, nous pouvons conclure que cette zone est propice à l'installation du pompage éolien. Cependant, nous devons considérer la répartition de ces vitesses tout au long de l'année particulièrement durant les périodes du besoin en eau. Cette approche liant la disponibilité du vent et le besoin en eau a été prise en considération à travers l'étude détaillée de la variation temporelle de la vitesse moyenne du vent qui nous a permis de conclure la possibilité du pompage durant toute l'année sauf au mois de décembre. Ce résultat est avantageux puisque au cours de ce mois le besoin en eau ne s'exprime pas.
- Pour le second site d'In Salah la variation de vitesse moyenne annuelle varie de 4.64 m/s en 2016 à 7.012 m/s en 2017, par conséquent cette région est plus ventée par rapport à l'autre. Sachant que la vitesse minimale du vent pour le fonctionnement de l'aérogénérateur est de 3 m/s, nous pouvons conclure que cette zone est très favorable à l'installation du système de pompage éolien. Cependant, nous devons considérer également la répartition de ces vitesses tout au long de l'année particulièrement durant les périodes du besoin en eau. L'étude détaillée de la variation temporelle de la vitesse moyenne du vent dans cette zone saharienne nous a permis de conclure la possibilité du pompage durant toute l'année. Ce

résultat est avantageux puisqu'au cours de ce mois le besoin en eau ne s'exprime pas.

Concernant l'évaluation de la profondeur de la nappe (hauteur piézométrique) et du débit journalier, l'étude comparative de la variation de débit ( $m^3/jour$ ) en fonction de hauteur manométrique (m) montre que le rendement est presque doublé dans la zone d'In Saleh par rapport à l'autre zone couverte par cette étude

Ces résultats nous amènent à tirer les conclusions suivantes :

- ✓ Possibilité d'installation des fermes éoliennes pour la génération de l'électricité
- ✓ La possibilité de résoudre les problèmes d'offrir de l'eau utilisable pour l'irrigation dans les deux régions

En perspectives :

- Une étude détaillée des besoins en eau des deux régions couvertes par cette étude afin d'apporter des solutions globales
- Possibilité de proposer des systèmes de pompage hybride
- Utiliser l'énergie fournie par ce type de système dans d'autres applications durant les périodes lorsque nous n'en avons pas besoin, (en hiver).

### Référence Bibliographiques

- [1] Mezidi, A. Guerri, O. Boudia, S, M et Mohammedi, K. 2016 «Comparative Study of Wind Pumping Performance in Two Algerian Coastal and Saharan Regions»
- [2] ([http:// www.creg.gov.dz](http://www.creg.gov.dz)).
- [3] Troen, I., and E. Lundtang Petersen. 1989. European Wind Atlas - Errata.  
[http://orbit.dtu.dk/en/publications/european-wind-atlas\(335e86f2-6d21-4191-8304-0b0a105089be\).html](http://orbit.dtu.dk/en/publications/european-wind-atlas(335e86f2-6d21-4191-8304-0b0a105089be).html)
- [4] Tran, Van Tan, and Tsai Hsiang Chen. 2016. “Wind Energy Resources on Phuquoc Island, Vietnam.” Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects 38(11): 1612–19.
- [5] R. Hamouche. 1990, atlas du vent de l’Algérie, office nationale de Météorologie, Alger
- [6] Hamane, L et khellaf, A , 2000, « wind energy resources in Algeria “ , WREC 2000 , pp.2352-2355, Brighton UK.
- [7] Merzouk, Kasbadji, N. 1999. “Carte Des Vents de l’Algérie - Résultats Préliminaires -.” Revue des Energies Renouvelables 2: 209–14.
- [8] Boudia, Sidi Mohammed, et Ouahiba Guerri. 2015. “Investigation of Wind Power Potential at Oran, Northwest of Algeria.” Energy Conversion and Management 105: 81–92
- [9] Abdeslame, D et al. 2017. “Estimation of Power Generation Capacities of a Wind Farms Installed in Windy Sites in Algerian High Plateaus.” Renewable Energy 103 : 630–40. <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2016.10.075>.
- [10] Mezidi, A. Guerri, O. Boudia, S, M et Mohammedi, K. 2016 «Comparative Study Of Wind Pumping Performance In Two Algerian Coastal And Saharan Regions»
- [11] ([www.scientificamerican.com](http://www.scientificamerican.com))
- [12] ([www.airenergy.be](http://www.airenergy.be) ).
- [13] ([hellowatt.fr](http://hellowatt.fr))
- [14] N. Kasbadji Merzouk, M. Merzouk et B. Benyoucef « PERSPECTIVES DU POMPAGE EOLIEN DANS LE SUD ALGERIEN »

- [15] N. KHEZAMI, (17/ 10/2011). "Commande multi modèle optimale des éoliennes : Application à la participation des éoliennes au réglage de la fréquence", Thèse de Doctorat, école centrale de Lille, école supérieure des sciences et techniques de Tunis.
- [16] (<https://www.archiexpo.fr/prod/windside/product-88530-959470.html>)
- [17] (<https://energieplus-lesite.be/techniques/eolien6/eoliennes>)
- [18] (<https://wwindea.org/worldwide-wind-capacity-reaches-744-gigawatts/>)
- [19] (<https://wwindea.org/worldwide-wind-capacity-reaches-744-gigawatts/>)
- [20] O Guerri .2011. « Bulletin des Energies Renouvelables »
- [21] Boudia, Sidi Mohammed. 2013. "Optimisation de l'Évaluation Temporelle Du Gisement Énergétique Éolien Par Simulation Numérique et Contribution À La Réactualisation de l'Atlas des Vents En Algérie. Thèse doctorat, Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen
- [22] Kasbadji, Nachida. 2006. Evaluation du Gisement Energétique Eolien Contribution a la determination du Profil Vertical de la Vitesse du Vent en Algérie ". Thèse de doctorat Université Abou Baker BelKaid Tlemcen
- [23] Nedaei, Mojtaba et al. 2018. "Comparative Analysis of Three Numerical Methods for Estimating the Onshore Wind Power in a Coastal Area." International Journal of Ambient Energy 39(1): 58–72. <http://dx.doi.org/01430750.2016.1237890>.
- [24] Chellali, Farouk, Adballah Khellaf, et al. 2011. "A Contribution in the Actualization of Wind Map of Algeria." Renewable and Sustainable Energy Reviews 15(2): 993–1002.<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2010.11.025>.
- [25] Elodie, F et Mathilde, L. et al 2009. "Dimensionnement d'une Installation Eolienne et Modelisation Informatique d'une Pale d'Eolienne." Rapport\_P6-3\_41. Institut National des Sciences Appliquees de Rouen Département Sciences et Techniques Pour l'Ingénieur
- [26] Chang, Tsang Jung et al. 2003. "Assessment of Wind Characteristics and Wind Turbine Characteristics in Taiwan." Renewable Energy 28(6): 851–71.
- [27] Djamai, Mourad, and Nachida Kasbadji Merzouk. 2011a. "Wind Farm Feasibility Study and Site Selection in Adrar, Algeria." Energy Procedia 6: 136
- [28] Louassa, S. Guerri, O and Kaabeche, A. 2019. "Environmental Effects Effects of Local Ambient Air Temperatures on Wind Park Performance: Case of the Kaberten Wind

Park.” Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects 0(0): 1–14.

- [29] Mezidi, A. Guerri, O. Boudia, S,M et Mohammedi, K. 2019. “Influence of Wind Data Temporal Variation in Wind Resource Assessment. Two Case Studies in the Southern Part of Algeria.” Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects.
- [30] ([www.fortiswindenergy.com](http://www.fortiswindenergy.com))
- [31] Sarah, N. and Nazih.M. 2011. “Étude Comparative Entre Éolienne À Axe Horizontal et Éolienne À Axe Vertical.” Buletinul Institutului Politehnic Din IAȘI Universitatea Tehnică „Gheorghe Asachi” din Iași Tomul LVII (LXI), Fasc. 5, SecŃia
- [32] : Actualité : Electricité : Mise en service de la ferme éolienne d'Adrar ([dknews-dz.com](http://dknews-dz.com))
- [33] Gamesa G52 - 850,00 kW - Éolienne ([wind-turbine-models.com](http://wind-turbine-models.com))



