

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



**Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued**

**FACULTE DE TECHNOLOGIE**

**DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE**



**Mémoire de fin d'étude**

Présenté pour l'obtention du diplôme de

**MASTER ACADEMIQUE**

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Génie mécanique

Spécialité : Energétique et Énergies renouvelables

**Thème**

Étude expérimentale d'un système éolien à cite isolé

Devant le jury composé de :

MANCOURI Khaled	Président
BOUSBIA Seif Eddine	Examineur
BERKANE Houda	Encadreur
CHERIFI Hakima	Co-Encadreur

Présenté par :

- LAIB Bachir  
- AYADI Bilal

2016/2017

# *Remerciement*

*Avant tous, nous remercions Dieu qui nous donne le courage et la patience de faire ce travail, malgré toutes les difficultés. Prière et Salutation pour le plus honorable messager le maître de la création notre prophète " Mohamed".*

*Nous commençons par Notre promoteurs : Mme BERKANE.H, Mlle CHERIFI.H.*

*Qui nous a Donnez-nous une chance de travailler sur ce sujet merveilleux, et deux tous les remerciements et son appréciation. nos remerciements vont également à tous ceux qui nous ont apporté directement ou indirectement, des conseils et du soutien et de l'assistance dans la mise en œuvre et la réalisation de ce travail, en particulier. KHACHKHOUCHE.A et ACHOUR, ALLAG.*

*Enfin une pensée pleine de reconnaissance à tous les enseignants du Faculté des Sciences et technique pour leurs efforts et leur collaboration lors de notre cursus*

# *Merci*

# *Dédicace*

*Nous dédions ce travail modeste*

*À la famille, en particulier les parents précieux*

*En plus de tous les parents et amis*

*qui nous ont aidés dans notre travail avec l'aide de ce fait,*

*que ce soit physique ou morale*

*Et aussi le travail de l'équipe (Ahmed et Tayeb), Oncle CHERIET Mohammed*

*Saleh, MESBAHI A.Karim, BEY larabe.*

# *Merci*

## Table de matières

Remerciements	
Dédicace	
Table de matières	
Liste des tableaux	
List des figures	
Liste des symboles	
Introduction générale	1
<b>Chapitre I : Notions de base sur l'énergie éolienne</b>	
1	Introduction ..... 2
2	Les énergies Renouvelables..... 2
3	L'énergie du vent..... 3
3.1	Définition de l'énergie éolienne..... 5
3.2	Production d'Eolienne..... 6
3.3	Le principe de fonctionnement d'une éolienne..... 6
3.4	Les différents types d'éoliennes ..... 7
3.4.1	Eoliennes A Axe Vertical..... 9
3.4.2	Eoliennes A Axe Horizontal..... 10
3.5	Principaux Composant de l'Eolienne Horizontale..... 11
3.6	Conversion d'énergie mécanique en l'énergie électrique ..... 13
4	Conclusion..... 13
<b>Chapitre II : Aérodynamique des éoliennes</b>	
1	Introduction..... 15
2	Variation de la vitesse du vent dans le temps..... 15
3	Les variations de vitesse de vent dans l'espace. La répartition géographique du vent au sol..... 16
4	Notions d'aérodynamique..... 18
4.1	Définitions..... 18
4.2	Actions de l'air sur l'aile..... 19
4.3	Paramètres influant sur les Cz et Cx ..... 19
5	Calcul aérodynamique d'une éolienne à axe horizontal..... 20
5.1	Loi de BETZ..... 20
6	Conclusion..... 24
<b>Chapitre III: Construction D'éolienne</b>	
1	Introduction..... 25
2	Etapas du développement d'un projet éolien..... 25
3	1 <sup>er</sup> partie : Réalisation pratique le générateur éolien..... 26
3.1	Le mât..... 26
3.2	La nacelle..... 27
3.3	Générateur..... 27
3.4	Multiplicateur de vitesse..... 28
3.5	Les pales..... 30
3.6	La girouette..... 32
3.7	Anémomètre..... 32
4	2 <sup>eme</sup> partie : l'armoire électrique..... 33

4.1	Hacheur (Boost).....	33
4.2	Régulateur de charge.....	35
4.3	Arduino UNO.....	37
4.4	Installation réalisé.....	40
4.5	Batterie de Stockage.....	40
5	Conclusion.....	41

## **Chapitre IV : Résultats Et discussions**

1	Introduction.....	42
2	La météo à El-Oued.....	42
3	Les résultats expérimentaux.....	43
3.1	Les Tableaux des résultats.....	43
3.1.1	Discussion.....	45
3.2	Les courbes de vitesse du vent.....	45
3.2.1	Discussion.....	48
3.3	Les courbes des tensions.....	49
3.3.1	Discussion.....	51
4	Conclusion.....	51
	Conclusion générale	52
	Références bibliographique	
	Résumé	

## Liste de tableau

<b>Tableau 1-1</b>	: <i>Classification des Turbines Eoliennes.....</i>	7
<b>Tableau 2.1</b>	: <i>Caractérise le Terrain de L'exposant <math>\alpha</math>.....</i>	17
<b>Tableau 3.1</b>	: <i>dimensions de Le mât.....</i>	26
<b>Tableau 3.2</b>	: <i>place signalétique de générateur.....</i>	28
<b>Tableau 3.3</b>	: <i>calcule nombre de rotation.....</i>	29
<b>Tableau 3.4</b>	: <i>Dimensions des pales.....</i>	31
<b>Tableau 3.5</b>	: <i>composants utilisés dans le circuit hacheur (BOOST).....</i>	34
<b>Tableau 3.6</b>	: <i>composants utilisés dans le circuit Régulateur de charge.....</i>	36
<b>Tableau 3.7</b>	: <i>Outils Aider pour faciliter le travail.....</i>	36
<b>Tableau 3.8</b>	: <i>Caractéristiques techniques de la batterie.....</i>	41
<b>Tableau 4.1</b>	: <i>Tensions produits pour la vitesse du vent le premier jour (07/05/2017)</i>	43
<b>Tableau 4.2</b>	: <i>Tensions produits pour la vitesse du vent le deuxième jour (09/05/2017)</i>	44
<b>Tableau 4.3</b>	: <i>Tensions produits pour la vitesse du vent le troisième jour (11/05/2017)</i>	44
<b>Tableau 4.4</b>	: <i>Tensions produits pour la vitesse du vent le quatrième jour (14/05/2017)</i>	44
<b>Tableau 4.5</b>	: <i>Tensions produits pour la vitesse du vent le quatrième jour (16/05/2017)</i>	45

## Liste de figures

<b>Figure 1.1</b>	: L'un des atlas mondiaux des moyennes annuelles de vitesse de .....	4
<b>Figure 1.2</b>	: Principaux organes du système de conversion éolien.....	5
<b>Figure 1.3</b>	: Différents types d'éoliennes.....	9
<b>Figure 1.4</b>	: Principales composants de l'éolienne à axe horizontal.....	12
<b>Figure 2.1</b>	: Illustration de la brise de mer (A) et de la brise de terre (B).....	16
<b>Figure 2.2</b>	: Schéma d'un profil d'aile.....	18
<b>Figure 2.3</b>	: Polaire d'Eiffel d'un profil d'aile.....	19
<b>Figure 2.4</b>	: Coefficient de puissance en fonction du rapport de vitesse du vent.....	22
<b>Figure 2.5</b>	: Débit de puissance et les pertes.....	24
<b>Figure 2.6</b>	: Coefficient de puissance $C_p - \lambda$ .....	24
<b>Figure 3.1</b>	: Étapes du développement d'un projet éolien .....	25
<b>Figure 3.2</b>	: la forme finale après assemblage.....	26
<b>Figure 3.3</b>	: coupe transversale axe de la nacelle.....	26
<b>Figure 3.4</b>	: Le mât.....	26
<b>Figure 3.5</b>	: La nacelle.....	27
<b>Figure 3.6</b>	: deux lames.....	27
<b>Figure 3.7</b>	: Générateur.....	27
<b>Figure 3.8</b>	: Multiplicateur de vitesse.....	28
<b>Figure 3.9</b>	: Logo de logiciel «SolidWorks».....	28
<b>Figure 3.10</b>	: L'interface de programme qui peut être l'édition des modèles 3D.....	29
<b>Figure 3.11</b>	: la forme finale de pale.....	30
<b>Figure 3.12</b>	: Dimensions des pales.....	31
<b>Figure 3.13</b>	: Support des Pales.....	31
<b>Figure 3.14</b>	: La girouette.....	32
<b>Figure 3.15</b>	: Anémomètre.....	32
<b>Figure 3.16</b>	: armoire électrique.....	33
<b>Figure 3.17</b>	: Schéma de convertisseur (Boost).....	33
<b>Figure 3.18</b>	: <i>circuit hacheur (BOOST)</i> .....	34
<b>Figure 3.19</b>	: Schéma Régulateur de charge.....	35
<b>Figure 3.20</b>	: circuit régulateur de charge.....	35
<b>Figure 3.21</b>	: Arduino UNO .....	37
<b>Figure 3.22</b>	: Alimentation Arduino UNO .....	37
<b>Figure 3.23</b>	: Logo de Logiciel de « MATLAB ».....	37
<b>Figure 3.24</b>	: vérification de mesures donnés par l'installation.....	40
<b>Figure 3.25</b>	: photo de la batterie du système.....	41
<b>Figure 4.1</b>	: Les températures maximales à El-oued dans 30 ans.....	42
<b>Figure 4.2</b>	: La vitesse du vent à EL oued .....	43
<b>Figure 4.3</b>	: Les courbes de vitesse du vent .....	48
<b>Figure 4.4</b>	: Les courbes des tensions produites .....	51

## Liste des symboles

### Symbole

### Unités

$E$	L'énergie cinétique	(Nm)
$m$	La masse	(kg)
$P_{mt}$	La puissance de l'air en mouvement	(W)
$\dot{m}$	Le taux d'écoulement (débit)	(kg/s)
$\rho$	La densité de l'air	(kg/m <sup>3</sup> )
$P_m$	La puissance du flux d'air avant et après le convertisseur	(W)
$A_1; A_2$	les sections transversales avant et après le convertisseur	(m <sup>2</sup> )
$v_1 ; v_2$	la vitesse du vent avant et après le convertisseur	(m/s)
$C_p$	coefficient d'échange de puissance	
$U$	la vitesse tangentielle d'attaque de la pale	(m/s)
$\Omega_1$	la vitesse angulaire du rotor	(tour/min)
$R$	le rayon du rotor	(m)
$\lambda$	vitesse en bout de pale d'hélice	(m/s)
$r$	rapport nombre de rotation	
$V_g$	la vitesse de rotation de générateur	(tour/min)
$V_{aer}$	la vitesse de rotation de la roue menant	(tour/min)
$V_{out}$	L'élévation de la tension de sortie du hacheur BOOST	(volte)
$V_{in}$	L'élévation de la tension d'entrée du hacheur BOOST	(volte)

# **Introduction Générale**

## **Introduction Générale**

L'énergie électrique est au cœur de notre société moderne qui serait bien en peine si elle devait s'en passer. Sa facilité de transport et surtout sa transformation en une autre forme d'énergie en font un élément désormais indispensable.

En effet, quel appareil domestique ou industriel n'utilise pas d'électricité que ce soit pour faire de l'éclairage, du chauffage, des mouvements de rotation ou translation, de la transmission de signaux, de l'imagerie médicale et bien d'autres chose encore. . . la liste est presque infinie intéressant de pouvoir trouver des solutions afin d'en produire toujours plus, mais de manière plus propre et plus durable.

Des solutions alternatives aux énergies fossiles que sont le charbon, le pétrole et l'uranium sont donc des voies vers les quelle nôtre société tout entière doit s'engager. De plus, la consommation d'énergie, toujours en augmentation, fait réduire les réserves en énergies fossiles et rapproche l'échéance de leur épuisement, ou du moins, leur extraction à moindres frais. En effet, pour prendre l'exemple du pétrole, les puits sont désormais beaucoup plus profonds et les gisements plus difficiles d'accès ce qui nécessite plus d'infrastructures et de transformations avant de pouvoir être utilisé comme combustible pour être transformé sous une autre forme d'énergie.

C'est dans cet objectif que vient s'insérer notre étude qui porte sur une des énergies renouvelables en développement en ce moment qui est l'énergie éolienne. Nous allons nous intéresser à l'état actuel des avancées technologiques qui ont permis la construction et le fonctionnement de ces aérogénérateurs, tout ceci en regardant de faciliter l'insertion de tel dispositif dans la production électrique. Ce travail est structuré en quatre chapitres qui sont énoncés de la manière suivante :

Dans le premier chapitre on présente des généralités sur le système éolien qui donne une description des différentes structures de ces systèmes en citant les avantages et les inconvénients pour chaque structure pour choisir la structure qui sera étudiées.

Le deuxième chapitre est consacré à la modélisation des forces aérodynamique agissant sur les pales de l'éolienne.

Dans le troisième chapitre, après l'étude théorique générale de système éolienne, on arrive à la réalisation pratique. Ce chapitre est répartie en deux parties la première concerne la réalisation des différentes parties de le générateur éolienne à axe horizontal tripales ; dans la deuxième partie réalise une armoire électrique basée sur la régulation.

Le quatrième chapitre sera consacré à la représentation des résultats obtenus par expérimentation, nous allons représenter dans les différents jours et différents temps, et les vitesses du vent variables.

Enfin, ce travail sera terminé par une conclusion générale, quelques difficultés et des perspectives de recherche envisagées.

# **Chapitre I : Notions de base sur l'énergie éolienne**

## **1. Introduction**

Le changement climatique et la raréfaction des ressources sont maintenant bien présents dans tous les esprits. Il est nécessaire de changer nos habitudes et de mettre en avant toutes les démarches vertueuses pour inverser les tendances.

Dans le domaine de l'énergie, les économies sont bien entendu indispensables, mais les sources d'énergies renouvelables devront également connaître une croissance sans précédent dans les prochaines décennies.

En particulier, parmi toutes les ressources possibles (biomasse, soleil, vent, houle, etc.), l'énergie éolienne est aujourd'hui la plus accessible en termes de technologie et de coûts.

## **2. Les énergies Renouvelables**

Le soleil, l'eau, le vent, le bois et les autres produits végétaux sont autant de ressources naturelles capables de générer de l'énergie grâce aux technologies développées par l'homme. Leur relatif faible impact sur l'environnement en fait des énergies d'avenir face au problème de la gestion des déchets du nucléaire et aux émissions de gaz à effet de serre. Les énergies renouvelables représentent par ailleurs une chance pour plus de 2 milliards de personnes isolées d'accéder enfin à l'électricité. Ces atouts, alliés à des technologies de plus en plus performantes, favorisent le développement des énergies renouvelables mais de manière encore très inégale selon le type de ressources considérées. D'une façon générale, les énergies renouvelables sont des modes de production d'énergie utilisant des forces ou des ressources dont les stocks sont illimités. L'eau des rivières faisant tourner les turbines d'un barrage hydroélectrique ; le vent brassant les pales d'une éolienne ; la lumière solaire excitant les photopiles ; mais aussi l'eau chaude des profondeurs de la terre alimentant des réseaux de chauffage. Sans oublier ces végétaux, comme la canne à sucre ou le colza, grâce auxquels on peut produire des carburants automobiles ou des combustibles pour des chaudières très performantes. Tout cela constitue les énergies nouvelles et renouvelables, " ENR " pour les adeptes du jargon énergétique, et plus justement ER pour les seules énergies renouvelables.

En plus de leur caractère illimité, ces sources d'énergie sont peu ou pas polluantes. Le solaire, l'éolien, l'eau et la géothermie ne rejettent aucune pollution, lorsqu'elles produisent de l'énergie. La combustion de la biomasse génère certains gaz polluants, mais en bien moindre quantité que des carburants fossiles, tels que le charbon ou le fioul.

La consommation d'énergie ne cessant d'augmenter, il semble néanmoins peu probable que les énergies renouvelables remplacent les autres ressources énergétiques dans un avenir proche. Aussi est-il important que chacun de nous surveille au plus près sa propre consommation d'énergie.

### **3. L'énergie du vent**

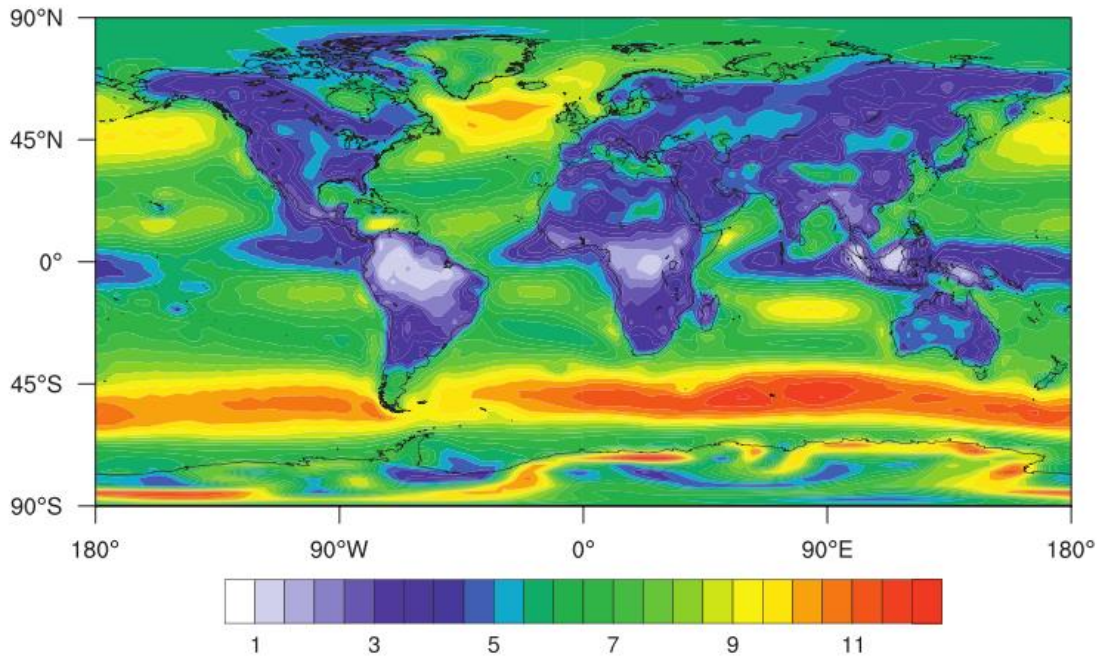
On ne voit pas le vent, mais on voit sa trace sur le milieu ambiant. Il y a sa trace instantanée : les branches qu'il agite, les tressautements impatients de l'anémomètre, le cri de la girouette, etc. Mais il y a surtout la trace qu'il laisse sur un paysage longtemps caressé : les arbres sculptés, les rochers érodés, etc. Autant de témoignages non seulement de sa force, mais également de sa constance, de ses excès, de ses tendances, bref, de ses caractéristiques propres, qui intéressent tant lorsqu'on souhaite exploiter cette ressource.

Tout le monde côtoie le vent chaque jour, ce qui donne parfois l'impression de savoir exactement ce qu'il est et de le maîtriser.

C'est justement parce que le vent n'est pas le même ici et à 200 m d'ici, ni le même maintenant et dans 10 secondes, que nous avons besoin d'en connaître les caractéristiques de manière plus approfondie, plus travaillée que la simple donnée instantanée ou la trompeuse impression d'ensemble.

La sagesse populaire prend grand soin des prévisions météorologiques. Et pour cause, le temps de demain, c'est la récolte d'après-demain. Mais les financiers d'aujourd'hui ont plus de difficultés à asseoir leurs stratégies de semences sur des dictons anciens. Il faudra des campagnes de mesures, de longs calculs et des corrélations croisées avant de les convaincre que notre ressource en vent sur les vingt prochaines années est peut-être plus fiable que les évaluations sur les cours du pétrole ou les autres placements boursiers sur cette même période (par exemple, le deuxième semestre 2008 enseigne beaucoup sur la fiabilité des prévisions financières mondiales).

Il s'agira de caractériser le vent en un point d'une zone. Puis sera traité ce qu'il faut faire pour prédire le vent statistiquement en ce point donné, et nous étendrons cette prévision sur l'ensemble de la zone concernée. Enfin, nous en déduirons l'énergie électrique que l'on pourra statistiquement produire sur ce site ainsi que ses caractéristiques propres.



**Figure 1.1 :** *L'un des atlas mondiaux des moyennes annuelles de vitesse de vent (en m/s, à 10 m)[1]*

L'humanité utilise le vent depuis la nuit des temps (bateau à voile, moulin à vents...). C'est certainement la forme d'énergie renouvelable qui connaît le plus fort développement les éoliennes ayant fait de gros progrès depuis une dizaine d'années (plus 55% en productivité, moins 50% en niveau de bruit). Une éolienne est une machine qui transforme l'énergie cinétique du vent (déplacement d'une masse d'air) en énergie mécanique ou électrique. Les éoliennes sont conçues de manière à produire un maximum de puissance pour des vents de force moyenne fréquemment rencontrés. Elles atteignent leur puissance nominale pour une vitesse de vent de 50 km/h (14 m/s). Si le vent devient plus violent, la machine subit des contraintes plus importantes. Elle est alors freinée grâce à un système de régulation électronique qui lui permet de rester à la puissance maximale (atteinte dès 50 km/h) tout en limitant les efforts sur la structure. Au delà d'un certain seuil (90 km/h, soit 25 m/s), la régulation ne suffit plus. La machine est alors stoppée afin de lui éviter de subir des charges trop importantes.

Cette énergie offre deux grands avantages, puisqu'elle est totalement propre et renouvelable. Lors de son exploitation, elle n'entraîne aucun rejet (pas d'effet de serre ou de pluies acides) et aucun déchet. Mais le principal inconvénient de cette source d'énergie renouvelable est son manque de flexibilité et son inconstance. Le vent ne souffle pas forcément quand on en a besoin ! En moyenne, une éolienne tourne à sa puissance nominale 1/5 du temps sur une année. Il convient alors de diviser par 5 la puissance installée pour obtenir la puissance réelle moyenne.

### 3.1. Définition de l'énergie éolienne

Un aérogénérateur, plus communément appelé éolienne, est un dispositif qui transforme une partie de l'énergie cinétique du vent (fluide en mouvement) en énergie mécanique disponible sur un arbre de transmission puis en énergie électrique par l'intermédiaire d'un générateur

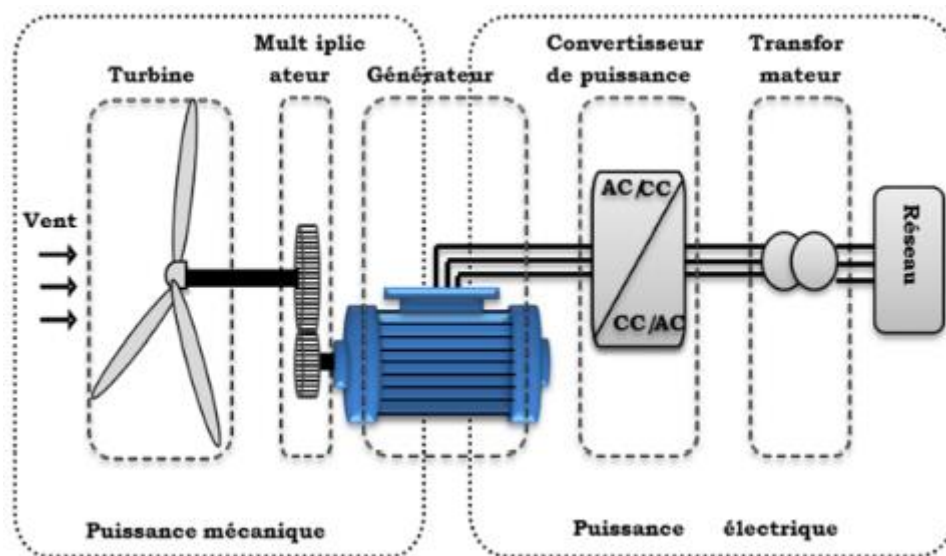


Figure 1.2 : Principaux organes du système de conversion éolien.

L'énergie éolienne est une énergie "renouvelable" non dégradée, géographiquement diffusée, de plus, c'est une énergie qui ne produit aucun rejet atmosphérique ni déchet radioactif. Elle est toutefois aléatoire dans le temps et son captage reste assez complexe, nécessitant des mâts et des pales de grandes dimensions (jusqu'à 60 m pour des éoliennes de plusieurs mégawatts) dans des zones géographiquement dégagées pour éviter les phénomènes de turbulences.

L'énergie éolienne fait partie des nouveaux moyens de production d'électricité décentralisée proposant une alternative viable à l'énergie nucléaire sans pour autant prétendre la remplacer (l'ordre de grandeur de la quantité d'énergie produite étant largement plus faible).

Les installations peuvent être réalisées sur terre mais également de plus en plus en mer où la présence du vent est plus régulière. De plus, les éoliennes sont ainsi moins visibles et occasionnent moins de nuisances sonores.

### **3.2. Production d'Eolienne**

La ressource éolienne provient du déplacement des masses d'air qui est dû indirectement à l'ensoleillement de la terre. Par le réchauffement de certaines zones de la planète et le refroidissement d'autres une différence de pression est créée et les masses d'air sont en perpétuel déplacement. Après avoir pendant longtemps oublié cette énergie pourtant exploitée depuis l'antiquité, elle connaît depuis environ 30 ans un essor sans précédent notamment dû aux premiers chocs pétroliers.

Dans l'échelle mondiale, l'énergie éolienne depuis une dizaine d'années maintient une croissance de 30% par an. En Europe, principalement sous l'impulsion allemande, scandinave et espagnole, on comptait en 2000 environ 15000 MW de puissance installée. Ce chiffre a presque doublé en 2003, soit environ 27000 MW pour 40000MW de puissance éolienne installée dans le monde.

### **3.3. Le principe de fonctionnement d'une éolienne**

Sous l'effet du vent, le rotor tourne. Dans la nacelle, l'arbre principal entraîne un alternateur qui produit l'électricité. La vitesse de rotation du rotor (de 12 à 15 tours/minute) doit être augmentée par un multiplicateur de vitesse jusqu'à environ 1500 tours/minute, vitesse nécessaire au bon fonctionnement de l'alternateur. Des convertisseurs électroniques de puissance ajustent la fréquence du courant produit par l'éolienne à celle du réseau électrique auquel elle est raccordée (50 Hz en Europe), tout en permettant au rotor de l'éolienne de tourner à vitesse variable en fonction du vent. La tension de l'électricité produite par l'alternateur, de l'ordre de 600 à 1000 volts, est ensuite élevée à travers un transformateur de puissance, situé dans la nacelle ou à l'intérieur du mât, jusqu'à un niveau de 20 ou 30 KV. Ce niveau de tension permet de véhiculer l'électricité produite par chacune des éoliennes d'une centrale éolienne jusqu'au point de raccordement au réseau électrique public. La tension de l'électricité produite par la centrale peut alors être de nouveau transformée, en fonction du niveau de tension de raccordement de la centrale au réseau public. Pour les centrales éoliennes de 10 à 15 MW de capacité, le niveau de tension de raccordement est. Pour les centrales de capacité plus importante, le niveau de tension de raccordement peut aller de 60 à 90 KV, voire même 225 KV.

Pour pouvoir démarrer, une éolienne a besoin d'une vitesse de vent minimale, de l'ordre de 10 à 15 km/h. Et au-delà de 90 km/h, les turbines s'arrêtent de tourner. Tout d'abord, la fréquence

d'occurrence des vents d'une vitesse supérieure à 90 km/h est généralement faible (inférieure à 1 %), et si les éoliennes fonctionnaient dans ces conditions, elles subiraient des efforts importants qui entraîneraient une usure prématurée de leurs équipements. Compte tenu du faible gain relatif sur la production que représente un fonctionnement par vent fort, les ingénieurs préfèrent, dans ces conditions, stopper les machines et attendre le retour de vents plus modérés et plus réguliers. Si les éoliennes ne fonctionnent pas au-delà d'une vitesse de vent de 90km/h, leurs fondations n'en sont pas moins conçues pour résister à des vents beaucoup plus importants... La puissance d'une éolienne classique est de 1 à 1,5 MW, mais les éoliennes de la nouvelle génération atteignent 2 à 3 MW et des modèles de 5 MW sont d'ores et déjà testés par les constructeurs [2].

### 3.4. Les différents types d'éoliennes

Les solutions techniques permettant de recueillir l'énergie du vent sont très variées. Le tableau présente une classification des turbines éoliennes.

ECHELLE	DIAMETRE DE L'ECHELLE	PUISSANCE DELIVREE
Petite	Moins de 12 m	Moins de 40 KW
Moyenne	12 m à 45 m	DE 40 KW à 1 MW
Grande	46 m et plus	1 MW et plus

**Tableau 1-1 : Classification des Turbines Eoliennes [3]**

#### ➤ Les raisons pour choisir une grande éolienne

1. Le principe des économies d'échelle vaut évidemment également pour les éoliennes. Ainsi, une grande éolienne produit normalement de l'électricité à un moindre coût qu'une petite. La raison pour cela est que les coûts de fondations, de construction, de raccordement au réseau et d'autres composants de l'éolienne (le système contrôle commande, par exemple) sont plus ou moins les mêmes, quel que soit la taille de l'éolienne.

2. Les grandes éoliennes sont particulièrement appropriées à l'installation en mer. Le coût des fondations n'augmente pas proportionnellement avec la taille de l'éolienne, et les coûts d'entretien sont dans une large mesure indépendants de la taille.

3. Dans les zones où il est difficile de trouver des sites pour plus qu'une seule éolienne, une grande éolienne avec une tour haute tire mieux partie de la ressource éolienne qu'une petite

➤ **Les raisons pour choisir une éolienne plus petite**

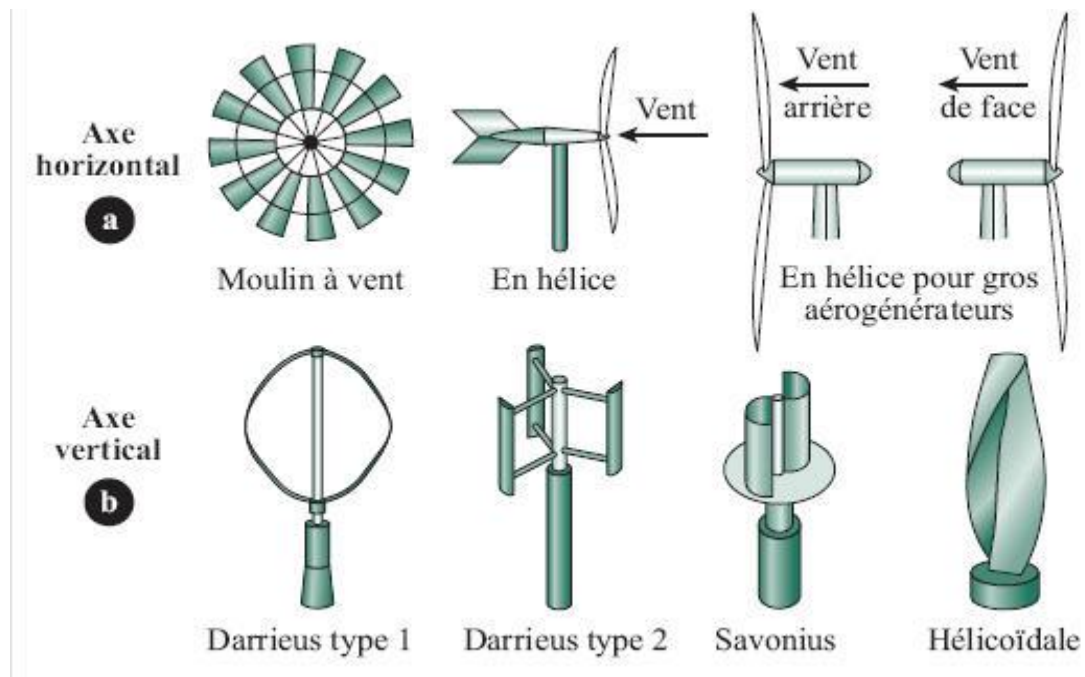
1. Il arrive que le réseau électrique local soit trop faible pour supporter la production électrique d'une grande éolienne. C'est souvent le cas dans les parties les plus extérieures du réseau où la densité de la population et les besoins en électricité est très basse.

2. La production d'électricité est moins fluctuante dans un parc éolien composé de plusieurs petites éoliennes, étant donné que les variations du vent sont aléatoires, ayant donc tendance à s'annuler. Et en plus, comme déjà mentionné, le choix d'éoliennes plutôt petites peut se révéler avantageux dans un réseau électrique faible.

3. Les coûts liés à l'usage de très grandes grues et à la construction de chemins suffisamment robustes pour supporter le transport des composants de l'éolienne constituent un autre facteur qui, dans certains endroits, rend plus économique le choix de petites éoliennes.

4. Avec plusieurs éoliennes d'une moindre puissance, on assure la répartition du risque en cas de défaillance temporaire d'une éolienne. Des considérations esthétiques du paysage peuvent parfois dicter le choix d'éoliennes plus petites. Cependant, il faut savoir, que la vitesse de rotation d'un grand rotor est en général beaucoup moins rapide que celles d'un petit, ce qui a pour résultat qu'une seule grande éolienne attire souvent moins l'attention que plusieurs petites.

On distingue aussi le "grand éolien", qui concerne les machines de plus de 250 KW, de l'éolien de moyenne puissance (entre 36 KW et 250 KW) et du petit éolien (inférieur à 36 KW)



**Figure 1.3 :** Différents types d'éoliennes. [4]

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

### 3.4.1. Eoliennes A Axe Vertical

Les éoliennes à axe vertical ont été les premières structures développées pour produire de l'électricité paradoxalement en contradiction avec le traditionnel moulin à vent à axe horizontal. Elles possèdent l'avantage d'avoir les organes de commande et le générateur au niveau du sol donc facilement accessibles et il s'agit d'une turbine à axe vertical de forme cylindrique qui peut facilement être installée sur le toit d'une maison moderne et dont les avantages sont : faible impact visuel, pratiquement pas de bruit et très grande tolérance aux vents forts.

Il existe des systèmes grâce auxquels les ailes se décalent plus ou moins pour augmenter l'étendue des vitesses d'action. Si la vitesse du vent est basse, les ailes sont complètement déployées, si la vitesse est trop forte, les ailes sont complètement fermées et l'éolienne forme un cylindre.

Même si quelques grands projets industriels ont été réalisés, les éoliennes à axe vertical restent toutefois marginales et peu utilisées voire actuellement abandonnées. Selon Les avantages théoriques d'une machine à axe vertical sont les suivantes :

- Elle vous permet de placer la génératrice, le multiplicateur, etc. à terre, et vous n'avez pas besoin de munir la machine d'une tour.
- Un mécanisme d'orientation n'est pas nécessaire pour orienter le rotor dans la direction du vent.

Les inconvénients principaux sont les suivants :

- L'efficacité globale des éoliennes à axe vertical n'est pas impressionnante.
- L'éolienne ne démarre pas automatiquement. Cependant, ceci ne constitue qu'un inconvénient mineur dans le cas d'une éolienne raccordée au réseau, étant donné qu'il est alors possible d'utiliser la génératrice comme un moteur absorbant du courant du réseau pour démarrer l'éolienne).

### **3.4.2 Eoliennes A Axe Horizontal**

Les éoliennes à axe horizontal sont basées sur la technologie ancestrale des moulins à vent. Elles sont constituées de plusieurs pales profilées aérodynamiquement à la manière des ailes d'avion. Dans ce cas, la portance n'est pas utilisée pour maintenir un avion en vol mais pour générer un couple moteur entraînant la rotation. Le nombre de pales utilisé pour la production d'électricité varie classiquement entre 1 et 3, le rotor tripale étant le plus utilisé car il constitue un compromis entre le coefficient de puissance, le coût et la vitesse de rotation du capteur éolien. Ce type d'éolienne a pris le dessus sur celles à axe vertical car elles représentent un coût moins important, elles sont moins exposées aux contraintes mécaniques et la position du récepteur à plusieurs dizaines de mètres du sol privilégie l'efficacité. Notons cependant que certains travaux défendent la viabilité du rotor vertical en réalisant des études multicritères. Les concepts abordés dans la suite de cette étude se limiteront uniquement au cas des éoliennes à axe horizontal.

Aujourd'hui, pratiquement les seules éoliennes commerciales sont à axe horizontales. Les plus grandes éoliennes mesurent jusqu'à 180m en bout de pale avec un moyeu à 120m pour une puissance de 6 MW.

Les éoliennes à axe vertical ont été prometteuses dans les années 80 et au début des années 90, mais leur faible rendement aérodynamique ainsi que les fluctuations élevées de la puissance électrique générée les ont écartées du marché.

Dans ce contexte, quelques notions principales au sujet de la technologie éolienne ont été données comme les méthodes de description du gisement éolien, des exemples d'architectures, les génératrices utilisées, etc. Nos travaux portent sur un système éolien de petite puissance dédié à un site perturbé comme le milieu urbain, des exemples de réalisations pratiques et industrielles de cette catégorie sont proposés. La turbine à axe vertical de type Savonius qui semble être particulièrement adaptée est alors étudiée du point de vue de son rendement en collaboration avec l'Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse donnant des indices sur les différents perfectionnements du rendement possibles.

### **3.5. Principaux Composant de l'Eolienne Horizontale**

On présente les différents composants d'une éolienne à axe horizontal étant le sujet de notre étude.

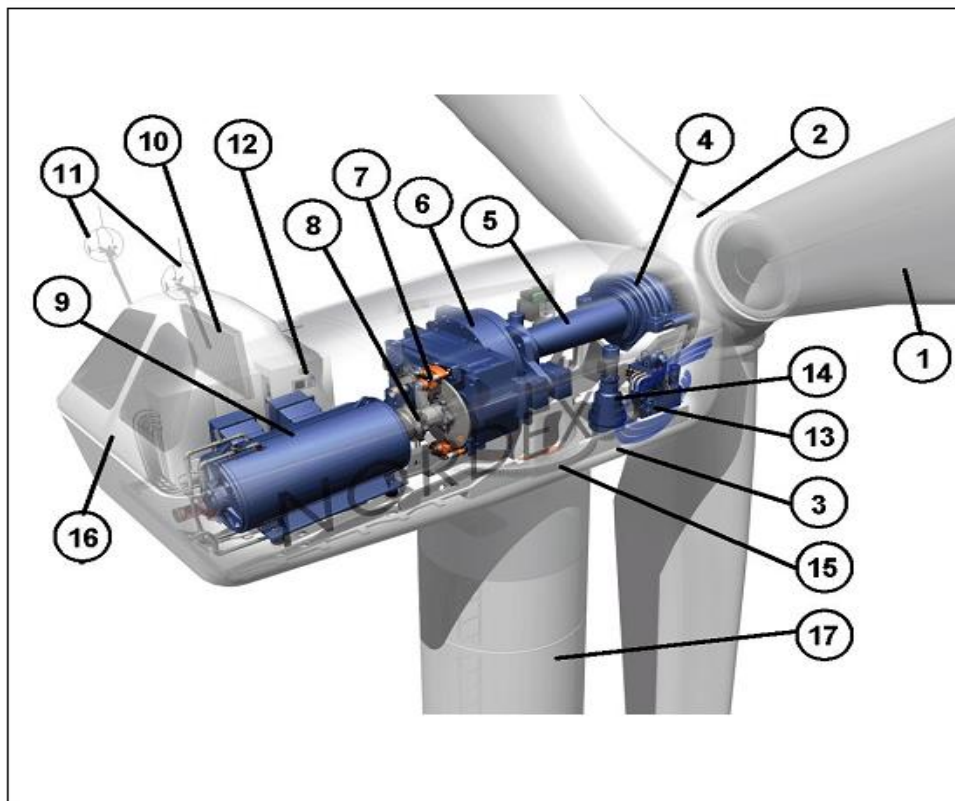
- 1- Pales en composite fibre de verre. Pas fixe, profil de type stall (décrochage aérodynamique). Freins aérodynamiques d'extrémité pivotants.
- 2- Moyeu du rotor en fonte.
- 3- Structure de la turbine en fonte ductile ou en acier soudé galvanisé à chaud.
- 4- Paliers du rotor à double rangée de billes.
- 5- Arbre lent du rotor en acier haute résistance.
- 6- Multiplicateur de vitesse à 3 étages (1 train épicycloïdal et 2 trains parallèles).
- 7- Frein à disque sur l'arbre rapide avec témoin d'usure.
- 8- Accouplement avec la génératrice de type flexible.
- 9- Génératrice (800/200 kW) asynchrone refroidie à l'eau.
- 10- Radiateur de refroidissement intégré au système multiplicateur - génératrice.
- 11- Système de mesure du vent (anémomètre et girouette) transmettant les signaux au système de contrôle de la turbine.
- 12- Système de contrôle surveillant et pilotant la turbine.
- 13- Système hydraulique pour les freins d'extrémité de pale et le système d'orientation.

14- Entraînement d'orientation de la tourelle à deux trains d'engrenages planétaires entraînés par des moteurs alimentés à fréquence variable.

15- Paliers du système d'orientation équipés d'un frein à disque.

16- Capot de la nacelle en structure acier recouverte de composite fibre de verre.

17- Tour en acier tubulaire (plusieurs hauteurs possibles).



**Figure 1.4 :** Principales composantes de l'éolienne à axe horizontal

En général, l'éolienne à axe horizontal est constituée de trois éléments principaux : La tour (mat), la nacelle et les pales qui sont supportées par le moyeu.

- **La tour :** C'est un élément porteur, généralement un tube en acier ou un treillis métallique. Avec l'augmentation des puissances nominales des éoliennes, le mat devient de plus en plus haut pour éviter les perturbations près du sol mais aussi permettre l'utilisation de pales plus longues. La tour a une forme conique ou cylindrique. A l'intérieur sont disposés les câbles de transport de l'énergie électrique, les éléments de contrôle, l'appareillage de connexion au réseau de distribution et l'échelle d'accès à la nacelle.

- **La nacelle** : Elle regroupe tous les éléments mécaniques permettant de coupler la turbine éolienne à la génératrice électrique. Elle comprend les éléments suivants :
- Arbre.
  - Multiplicateur.
  - Roulements.
  - Le frein à disque permettant d'arrêter le système en cas de surcharge.
  - Le générateur.
  - Les systèmes d'orientation des pales (régulation de la vitesse) et de la nacelle (la surface balayée par l'aérogénérateur doit être perpendiculaire à la direction du vent).
- **Les pales** : Elles permettent de capter la puissance du vent et la transférer au rotor. Leur nombre est de trois pales dans la plupart des aérogénérateurs, car ce nombre constitue un compromis entre les performances de la machine et des raisons de stabilité.
- **Le moyeu** : C'est l'élément qui supporte les pales. Il doit être capable de résister à des à-coups violents surtout lors du démarrage de l'aérogénérateur ou lors de brusques changements de vitesse de vent.

### **3.6. Conversion d'énergie mécanique en l'énergie électrique**

Les dispositifs qui permettent de transformer l'énergie mécanique en énergie électrique sont le plus souvent des machines électriques tournantes. Le phénomène d'induction électromagnétique permet de comprendre le fonctionnement d'un générateur. Un générateur, élément d'une éolienne, fournit en fonctionnement optimal une puissance électrique, le générateur est à aimant permanent.

## **4. Conclusion**

Une brève description sur les systèmes éoliens a été présentée dans ce chapitre. Comme beaucoup d'énergies renouvelables, le gisement éolien mondial est considérable puisqu'il est très supérieur à la consommation énergétique actuelle de l'humanité. Cependant le développement de son exploitation dépendra, non pas des difficultés technologiques surmontées actuellement côté pratique, mais de données économiques et politiques favorisant ou non les diverses formes d'énergies exploitables.

Et on peut dire aussi que l'éolienne est une source de production d'énergie qui représente dans certains cas l'une des meilleures solutions adaptées. Et ne consomme aucun combustible et ne participe pas à l'effet de serre.

Vue l'importance de l'énergie éolienne on s'intéressera dans les chapitres suivants à la conception et la simulation d'un modèle pédagogique d'une éolienne.

# **Chapitre II :**

# **Aérodynamique des**

# **éoliennes**

## 1. Introduction

Le vent est défini par sa direction et sa vitesse. Ces deux grandeurs sont variables dans le temps (turbulence, variations saisonnières,...) et dans l'espace (topologie du terrain,...).

## 2. Variation de la vitesse du vent dans le temps

### ➤ Les phénomènes instantanés : turbulence du vent

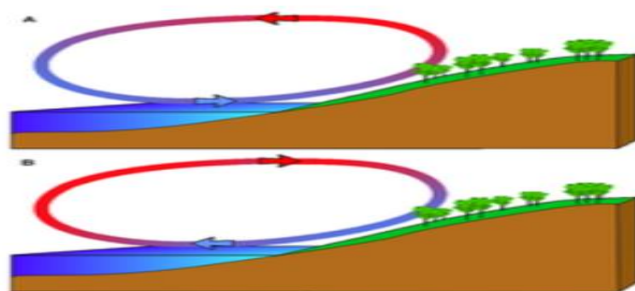
La vitesse du vent et sa direction peuvent varier très rapidement. En moins d'une seconde, l'intensité du vent peut doubler et sa direction changer de 20°. Lorsque les fluctuations en direction sont trop rapides, il est impossible pour une éolienne d'avoir son axe aligné en permanence dans la direction du vent, en raison de l'inertie de la machine. Il est donc important de tenir compte de ces variations qui sont les fluctuations les plus gênantes. De plus, un vent à rafales imposera des contraintes qu'il faudra prendre en compte dans le calcul du support de l'éolienne, la plupart des systèmes de régulation ayant une inertie largement supérieure à la durée d'une rafale. Plusieurs facteurs contribuent à déterminer les variations du vent :

1. le temps qu'il fait
2. la topographie du terrain
3. les obstacles.

Ces variations de la vitesse du vent font varier la production énergétique de l'éolienne bien que l'inertie du rotor compense, dans une certaine mesure, les variations les plus courtes. On a intérêt à placer le rotor en dehors de toute zone turbulente et à une hauteur suffisamment élevée pour que le gradient de vitesse dans le sens vertical ne soit pas trop important.

### ➤ Les phénomènes journaliers

Les vents subissent les fluctuations journalières dues à des effets convectifs. La chaleur spécifique du sol étant inférieure à celle de l'eau, la terre s'échauffe plus rapidement que la mer sous l'effet du rayonnement solaire. On peut parler de **Brise de mer et brise de terre**.



**Figure. 2.1:** Illustration de la brise de mer (A) et de la brise de terre (B). [5]

En 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, c'est la **brise de mer** (Figure 2.1.A). Le soir, le phénomène s'inverse, la terre se refroidissant plus vite que la mer c'est la **brise de terre** (Figure 2.1.B).

**Les vents de montagne :** Les régions montagneuses donnent naissance à beaucoup de phénomènes climatologiques parmi eux la **brise de vallée**. **Le matin, les sommets sont réchauffés avant les vallées.** L'air commence alors 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. Les vents s'écoulant le long des versants des montagnes peuvent être très violents.

#### ➤ Les phénomènes saisonniers

La vitesse et la direction du vent varient en fonction des zones de haute et de basse pression. Ces aires anticycloniques et cycloniques sont liées à la position du soleil par rapport à l'équateur, ainsi le vent subit une variation annuelle plus ou moins cyclique. En France, la vitesse du vent est plus importante en hiver que pendant les mois d'été.

### 3. Les variations de vitesse de vent dans l'espace. La répartition géographique du vent au sol

Le vent est plus fort sur les océans que sur les continents. Cette disparité s'explique notamment par le relief et la végétation qui freinent le mouvement de l'air. Aussi, les zones généralement les plus favorables pour les sites éoliens sont situées en bordure de côtes sur les continents. De plus, certaines régions sont connues pour la régularité de leur vent : les alizés de part et d'autre de l'équateur, les moussons en Asie du Sud-est,...

➤ **La vitesse du vent en fonction de l'altitude (Cisaillement)**

La vitesse du vent dépend essentiellement de la nature du terrain au-dessus duquel se déplacent les masses d'air. En effet, la réduction du vent auprès du sol est due à la friction exercée par la végétation, les obstacles et les bâtiments. Les gradients de vitesse sont donc plus ou moins marqués en fonction de la topologie du terrain. Habituellement, la variation de la vitesse avec l'altitude est représentée par la loi :

$$\frac{V_1}{V_2} = \left(\frac{h_1}{h_2}\right)^\alpha \tag{2.1}$$

$V_1$  et  $V_2$  représentent les vitesses de vent horizontal aux hauteurs respectives  $h_1$  et  $h_2$ . Cette loi est une loi statistique qui repose sur de nombreuses observations. Généralement,  $h_2$  est voisin de 10 m (hauteur moyenne des anémomètres dans les stations météorologiques),  $\alpha$  est un coefficient qui varie de 0,10 à 0,40.

Cette variation avec l'altitude peut également être représentée par une loi logarithmique en introduisant la rugosité du terrain par le paramètre  $h_0$  :

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{\ln\left(\frac{h_1}{h_0}\right)}{\ln\left(\frac{h_2}{h_0}\right)} \tag{2.2}$$

La loi logarithmique donne les meilleurs résultats jusqu'à 30 à 50 m de hauteur au-dessus du sol mais au-delà de la couche limite, la première relation est la plus utilisée. L'exposant  $\alpha$  caractérise le terrain comme dans le tableau ci-dessous :

Nature du terrain	Inégalité du sol $h_0$ en m	Exposant $\alpha$
Lisse, Plat : neige, glace, mer, herbes courtes	0,001 – 0,02	0,10 - 0,11
Rugosité modérée, peu accidenté : champs et pâturages, cultures	0,02 – 0,3	0,15 - 0,30
Rugueuse, Accidenté : bois, zones peu habitées	0,3 - 2	0,20 - 0,27
Très accidenté : villes, immeuble élevés	2 - 10	0,27 - 0,4

Avec  $\alpha = 0.096 \lg h_0 + 0.016 (\lg h_0)^2 + 0.24$ .

**Tableau 2.1 :** Caractérise le Terrain de L'exposant  $\alpha$  [6]

Les sites les plus intéressants pour la récupération d'énergie éolienne sont les sites peu ou pas accidentés pour lesquels l'exposant  $\alpha$  est faible. On bénéficie dans ce cas de vitesses du vent près du sol élevées et la variation de la vitesse de vent avec l'altitude est faible (la vitesse de vent en haut et en bas de la machine sont sensiblement les mêmes),

ce qui a pour conséquence de diminuer les contraintes cycliques sur les pales du moteur éolien (d'autant plus important lorsque le diamètre de l'hélice est grand).

➤ **Influence du relief sur l'intensité du vent**

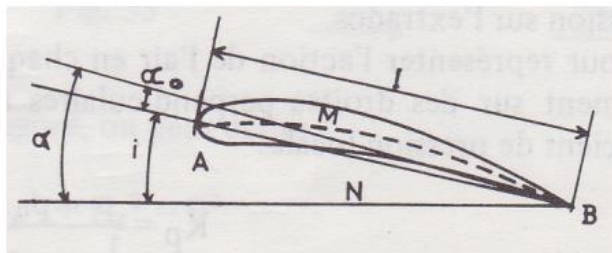
L'intensité du vent est influencée par le relief et tous les obstacles isolés rencontrés par le vent. Le relief peut être à l'origine d'accélération locale du vent (passage de collines par ex.) mais aussi de zones de forte turbulence et de décollement de couche limite (phénomènes défavorables). La **zone de turbulence** créée par un obstacle s'étend sur une distance d'environ trois fois la hauteur de cet obstacle, cette turbulence est plus forte derrière l'obstacle que devant, on veillera donc à limiter la présence d'obstacles aux abords d'une éolienne, en particulier dans la direction des vents dominants (devant l'éolienne).

## 4. Notions d'aérodynamique

Nous allons ici introduire brièvement les notions d'aérodynamique sur une aile portante. En effet l'élément principal de l'éolienne est la pale. Cette dernière n'est autre chose qu'une aile portante. Pour dimensionner de façon optimale les principaux éléments, il est indispensable d'avoir quelques connaissances sur les actions aérodynamiques qu'exerce un vent donné sur un profil d'aile.

### 4.1. Définitions

Si on considère le profil d'aile donné sur la Figure 2.2 ci-dessous.



**Figure 2.2 :** Schéma d'un profil d'aile.[7]

On appelle bord d'attaque, les points du profil les plus éloignés des points B où se trouve le bord de fuite.

AB est appelée la corde  $l$  du profil ; AMB représente l'extrados du profil et ANB l'intrados. Pour tenir compte de l'inclinaison de l'aile par rapport au vent incident (supposé horizontal sur la figure), on introduit plusieurs angles :

- Angle d'incidence ou d'attaque : angle  $i$  formé par la corde et la direction du vent vu par l'aile

- Angle de portance nulle : angle  $\alpha_0$  représentant l'angle d'incidence pour lequel la portance est nulle. Cet angle est généralement négatif pour les profils usuels (représenté de cette façon sur la figure)
- Angle de portance : angle  $\alpha$  formé par la direction du vent relatif et la direction de portance nulle.

En valeur algébrique,  $\alpha = \alpha_0 + i$ .

#### 4.2. Actions de l'air sur l'aile

Usuellement, la résultante aérodynamique exercée par l'air sur l'aile est projetée suivant un système d'axes associés à la vitesse  $V$  du vent vu par l'aile. Ceci est illustré sur la Figure 2.3 suivante :

- la composante  $F_z$  (perpendiculaire à la direction du vent) est appelée la portance
- la composante  $F_x$  (parallèle à la direction du vent) est appelée la traînée

A partir de cette décomposition, on introduit classiquement deux coefficients sans dimension :

- le coefficient de portance :  $C_z = \frac{F_z}{\frac{1}{2}\rho AV^2}$
- le coefficient de traînée :  $C_x = \frac{F_x}{\frac{1}{2}\rho AV^2}$

Où  $A$  est la surface alaire de l'aile (corde \* envergure) et  $\rho$  la masse volumique de l'air.

#### 4.3. Paramètres influant sur les $C_z$ et $C_x$

Les deux paramètres jouant sur les valeurs des coefficients de portance et de traînée pour un profil d'aile donné sont le nombre de Reynolds et l'incidence de l'aile en régime incompressible. La Figure 2.3 ci-dessous illustre l'évolution habituelle de ces deux coefficients en fonction de l'angle d'incidence  $i$  à Reynolds fixe.

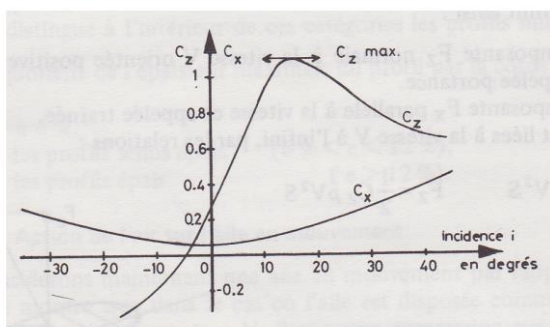


Figure 2.3 : Polaire d'Eiffel d'un profil d'aile.[8]

On constate que pour les faibles incidences, le coefficient de portance évolue de façon quasi linéaire avec l'angle d'incidence. Pour une incidence donnée, le coefficient de portance atteint un maximum, c'est la crise de portance. On appelle cet angle d'incidence particulier, l'angle de décrochage. Sur l'exemple donné, l'angle de portance nulle est bien négatif et vaut environ  $-5^\circ$ . En parallèle, le coefficient de traînée passe vers un minimum autour de cet angle pour augmenter légèrement avec l'augmentation de l'incidence. La courbe portant le coefficient de traînée en abscisse et le coefficient de portance en ordonnée est appelée la polaire d'Eiffel d'une aile. Elle est généralement graduée en angle d'incidence  $i$ .

## 5. Calcul aérodynamique d'une éolienne à axe horizontal

Une première théorie permettant d'estimer la puissance d'une éolienne est la théorie de Betz qui s'applique essentiellement aux machines à axe horizontal.

### 5.1. Loi de BETZ

Les pales d'une éolienne tire l'écoulement d'énergie à partir de l'air mobile, qui convertit cette dernière en énergie de rotation et la fournit par l'intermédiaire d'une unité mécanique d'entraînement au rotor d'un générateur électrique. L'énergie cinétique en air d'un objet de la masse  $m$  se déplaçant avec la vitesse  $v$  est égale à :

$$E = \frac{1}{2} m \cdot v^2 \quad (2.3)$$

La puissance de l'air en mouvement, si nous supposons la vitesse constante du vent, est la suivante :

$$P_{mt} = \frac{dE}{dt} = \frac{1}{2} \dot{m} \cdot v^2 \quad (2.4)$$

Où :  $\dot{m}$  - le taux de écoulement (débit) de la masse par seconde.

Lorsque l'air passe à travers une zone A, telle que la surface balayée par les pales du rotor, la puissance dans l'air peut être estimé par :

$$P_{mt} = \frac{1}{2} \rho \cdot A v^3 \quad (2.5)$$

Où :  $\rho$  - la densité de l'air. Elle varie avec la pression de l'air et la température, dans le travail on prend  $\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3$

L'équation ci-dessus estime combien de puissance se trouve dans le vent, mais quelle quantité de cette puissance peut être obtenue à partir du flux d'air avec un convertisseur de puissance ? L'énergie mécanique qui est obtenu du convertisseur à partir du flux d'air sera égale à la différence des puissances du flux d'air avant et après le convertisseur :

$$P_m = \frac{1}{2} \rho \cdot A_1 \cdot v_1^3 - \frac{1}{2} \rho \cdot A_2 \cdot v_2^3 = \frac{1}{2} \rho (A_1 \cdot v_1^3 - A_2 \cdot v_2^3) \quad (2.6)$$

Où :  $A_1$  et  $A_2$  - les sections transversales avant et après le convertisseur ;

$v_1$  et  $v_2$  - la vitesse du vent avant et après le convertisseur.

Comme le flux d'air passe par le convertisseur, la vitesse du vent doit diminuer derrière le convertisseur de d'énergie éolienne et le flux massif reste invariable. Par conséquent,

$$\rho \cdot v_1 \cdot A_1 = \rho \cdot v_2 \cdot A_2 \quad (2.7)$$

Ainsi,

$$P_m = \frac{1}{2} \rho \cdot A_1 \cdot v_1 \cdot (v_1^2 - v_2^2) \quad (2.8)$$

De l'équation (2.8), on peut remarquer que la puissance mécanique maximale se produit lorsque  $v_2$  est nulle. Si  $v_2$  est égale à zéro, l'air a été porté à un arrêt complet par le convertisseur, qui n'est pas physiquement possible. Si la vitesse de sortie derrière le convertisseur est zéro, alors la vitesse d'apport doit être zéro, que implique qu'il n'y a pas de débit par le convertisseur. Par conséquent, la puissance mécanique débitée du flux d'air doit être exprimé d'une autre équation. En utilisant la loi de la conservation des impulsions, la force exercée par le vent sur le convertisseur est :

$$F = \dot{m}(v_1 - v_2) \quad (2.9)$$

La transmission mécanique extraite est :

$$P_m = F \cdot v' = \dot{m} \cdot (v_1 - v_2) \cdot v' \quad (2.10)$$

En comparant l'équation 1.4 et 1.8 on peut obtenir la relation pour la vitesse du flux  $v_1$

$$v' = \frac{1}{2}(v_1 - v_2) \quad (2.11)$$

Ainsi la vitesse du flux d'air à travers le convertisseur est égale à la moyenne de  $v_1$  et de  $v_2$ .

La puissance mécanique du convertisseur peut alors être exprimé en tant que :

$$P_m = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot (v_1^2 - v_2^2) \cdot (v_1 + v_2) \quad (2.12)$$

Si l'on compare cette puissance mécanique de sortie avec la puissance dans le flux d'air qui circule à travers la même surface transversale de la section A , le rapport entre la puissance mécanique débitée par le convertisseur et la puissance contenue dans le flux d'air qui traverse la même zone est appelée le "coefficient de puissance"  $C_p$  et peut être représentée comme suit :

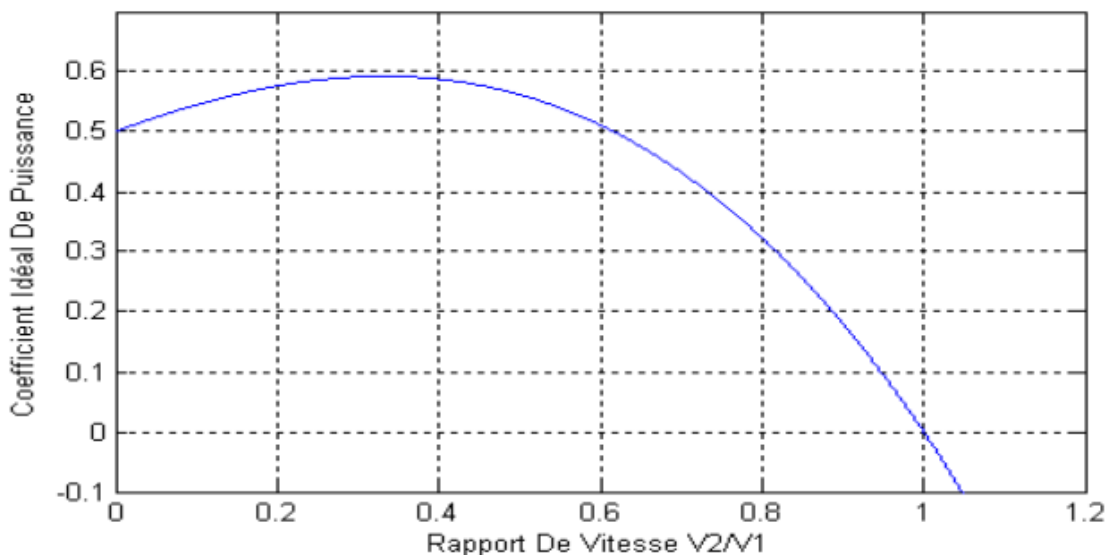
$$C_p = \frac{P_m}{P_{mt}} = \frac{\frac{1}{4}\rho A(v_1^2 - v_2^2)(v_1 + v_2)}{\frac{1}{2}\rho A v^3} \tag{2.13}$$

Le coefficient de puissance peut également être exprimé en termes de rapport de vitesse  $v_1/v_2$  :

$$C_p = \frac{P_m}{P_{mt}} = \frac{1}{2} \left| 1 - \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^2 \right| \left| 1 - \frac{v_2}{v_1} \right| \tag{2.14}$$

Si on trace l'équation (2,12) on remarque que la valeur maximale idéale du coefficient de puissance  $C_p$  donc la puissance maximale qui peut être récupérée avec une turbine éolienne se produit quand  $\frac{v_1}{v_2} = \frac{1}{3}$  (voir la fig. 2.4), donc le  $C_p$  devient :

$$C_p = \frac{16}{27} = 0.593$$



**Figure 2.4 :** Coefficient de puissance en fonction du rapport de vitesse du vent. [9]

Ceci a été dérivé la première fois par A. Betz, c'est pourquoi on l'appelle le " facteur de Betz " ou " limite de Betz ". Cette valeur est la valeur théorique maximale du coefficient

de puissance, donc, l'efficacité théorique maximale qu'un convertisseur d'énergie éolienne peut avoir est 59,3%. Il est bien de mentionner que cette valeur du coefficient de puissance a été obtenue pour un idéal convertisseur de flux sans frottement.

Dans des cas réels, l'éolienne aura toujours un plus petit coefficient maximum de puissance que le facteur de Betz ; à cause des pertes aérodynamiques qui dépendent de la conception du rotor et de la construction (nombre de pales, poids, rigidité, etc...). Le coefficient de puissance et l'efficacité d'un système d'éoliennes sont différents. L'efficacité d'une éolienne inclut la perte dans la transmission mécanique, la production d'électricité, les pertes du convertisseur, etc., où le coefficient de puissance est l'efficacité de convertir la puissance du vent en puissance mécanique dans l'arbre du rotor. La figure 2.5 montre un diagramme avec les pertes d'un système de la turbine éolienne.

Le coefficient de puissance est généralement donné comme fonction du rapport de vitesse en bout de pale d'hélice  $\lambda$  et l'angle d'attaque de pale  $\beta$ . L'angle d'attaque est l'angle entre le plan de la rotation et l'accord du plan latitudinal de la pale. Le rapport de vitesse en bout d'une éolienne est défini comme :

$$\lambda = \frac{u}{v_1} = \frac{\Omega_1 \cdot R}{v_1} \quad (2.15)$$

Où :  $u$  : la vitesse tangentielle d'attaque de la pale

$\Omega_1$  : la vitesse angulaire du rotor

$R$  : le rayon du rotor en mètres

$v_1$  : la vitesse du vent.

La caractéristique du coefficient de puissance par rapport au rapport de la vitesse en extrémité est présentée par la figure 2.6. Cette caractéristique est un élément principal dans la caractérisation des convertisseurs d'énergie éolienne.

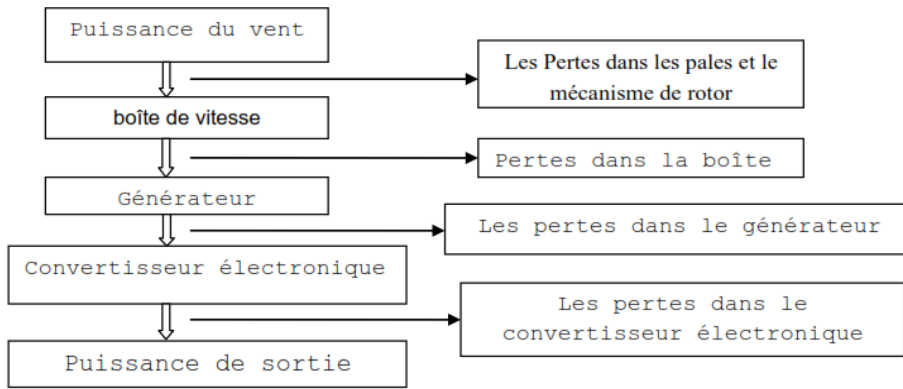


Figure 2.5 : Débit de puissance et les pertes. [10]

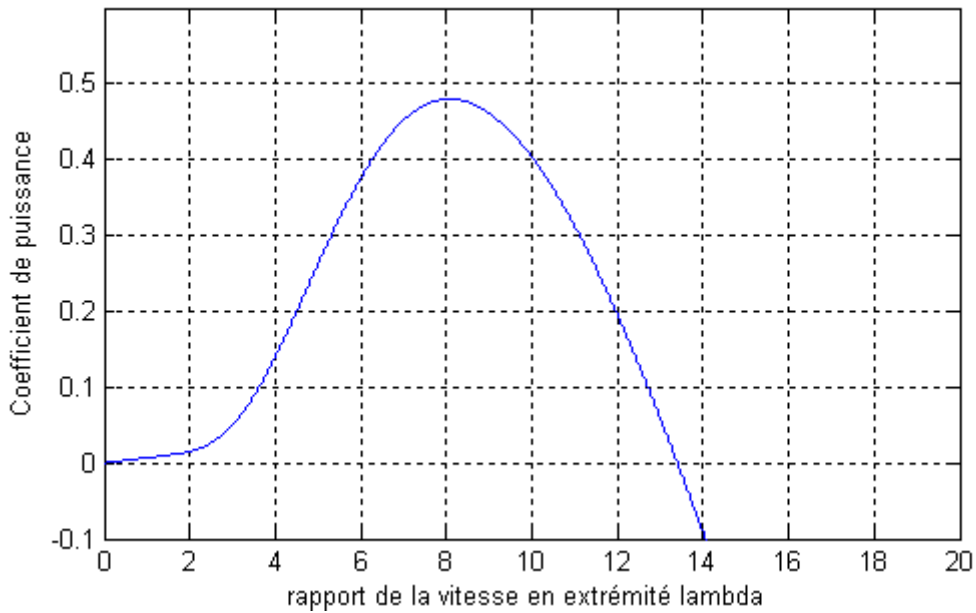


Figure 2.6 : Coefficient de puissance  $C_p - \lambda$  [11]

### 6. Conclusion

Il y a deux variables au fil du temps (turbulence, saisonnier, ...) et dans l'espace (topologie de la Terre, ...). Les deux dispositifs de commande principale de la vitesse et direction du vent

# **Chapitre III: Construction D'éolienne.**

## 1. Introduction

Après l'étude théorique générale de système éolienne, on arrive à la réalisation pratique. Ce chapitre est réparti en deux parties, la première concerne la réalisation le déférent parties de le générateur éolienne à axe horizontal tri-pales.

Et en deuxième partie réalise une armoire électrique est basée sur la régulation et l'adaptation de ce système quelque soit la vitesse de vent en temps réel pour stocker l'énergie électrique ou batterie. Nous avons réalisé un convertisseur continu -continu de type Boost à base de MOSFET avec un régulateur commandé par le microcontrôleur arduino « UNO ».

Nous allons présenter les principales propriétés des différents éléments qui constituent notre système éolienne et ensuite le circuit qui les liés.

## 2. Étapes du développement d'un projet éolien

Les étapes principales appliquées dans ce travail :

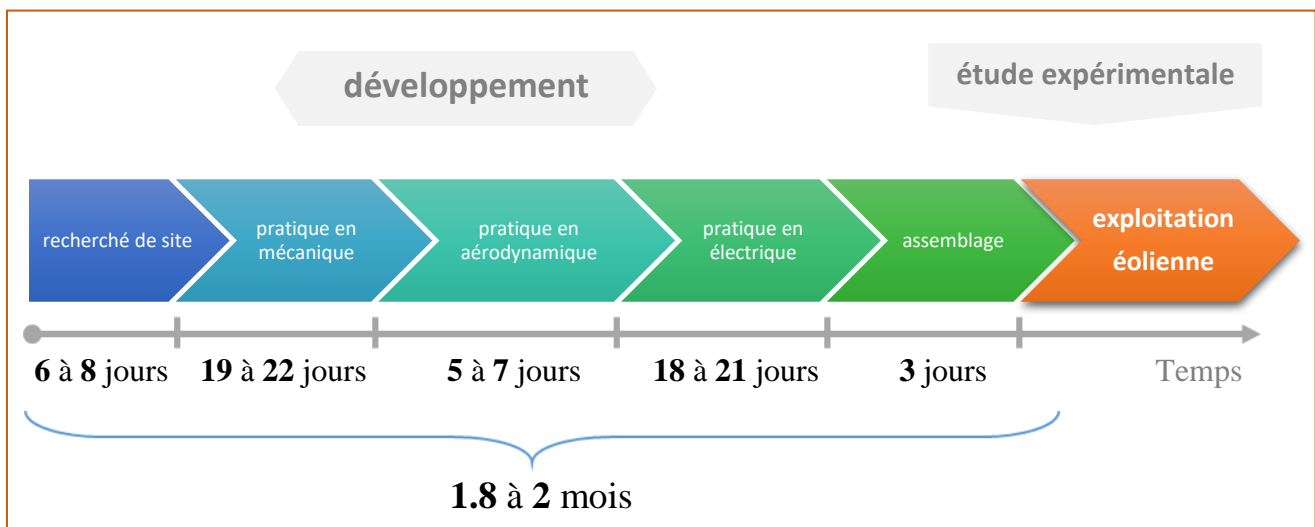


Figure 3.1: Étapes du développement d'un projet éolien.

### 3. 1<sup>er</sup> partie : Réalisation pratique le générateur éolien

Dans ces paragraphes on parle de la réalisation pratique de différentes parties de l'éolienne :

1. Le mât.
2. La nacelle.
3. Les pales.
4. La girouette.

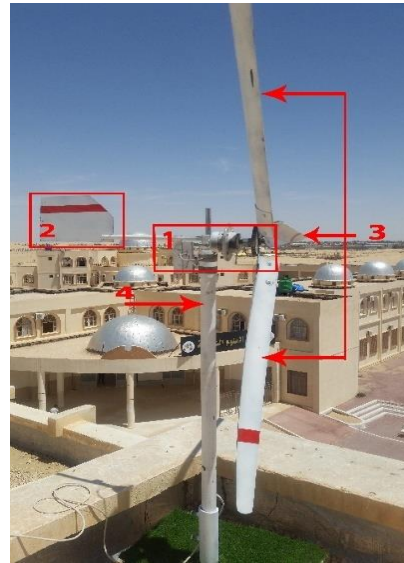


Figure 3.2: la forme finale après assemblage.

#### 3.1 Le mât

Un mât permettant d'élever l'hélice à une altitude adéquate, où la vitesse du vent est plus élevée et ne rencontre pas autant d'obstacles qu'au niveau du sol.

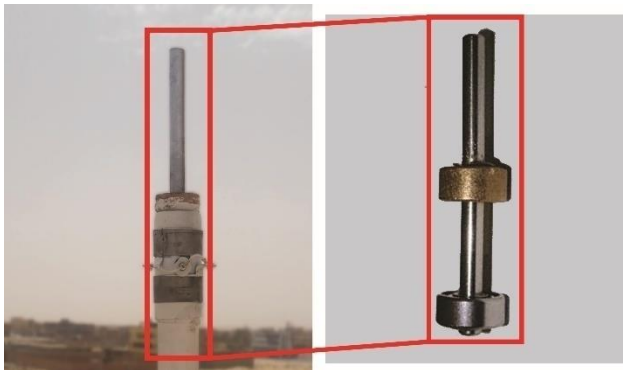


Figure 3.3: coupe transversale axe de la nacelle.



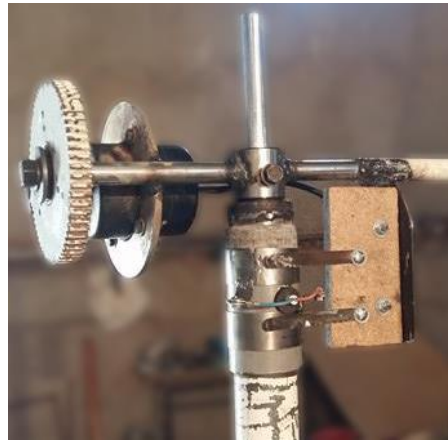
Figure 3.4: Le mât.

<b>MÂT</b>	Taille du Mât	1.70 m
	Diamètre du Mât	55mm
	Poids du Mât	18 kg
	Socle du Mât	50×60 mm

Tableau 3.1: dimensions de Le mât.

### 3.2 La nacelle

C'est un élément de l'aérogénérateur situé en haut du mât, contenant le générateur, et la machinerie associée, nécessaires à la production d'électricité.



**Figure 3.5:** *La nacelle.*

La nacelle, Il doit pouvoir tourner à 360 degrés pour capter le vent dans toutes les directions. Dans ce cas, nous avons proposé ce système; deux lames tourner avec nacelle.



**Figure 3.6:** *deux lames.*

### 3.3 Générateur

Générateur (aérogénérateur) Alternateur ou dynamo dont le rôle est de transformer l'énergie mécanique ou énergie électrique (transformer la rotation de l'axe du rotor en électricité).



**Figure 3.7:** *Générateur.*

<b>Générateur</b>	Tension	24V
	Ampérage	4A
	Puissance	96W
	Nombre de rotation	2600 tr/min

**Tableau 3.2:** place signalétique de générateur.

### 3.4 Multiplicateur de vitesse

Le multiplicateur permet de transformer la puissance à vitesse lente et à un couple élevé produite par le rotor de l'éolienne, en une puissance à grande vitesse et à un couple faible utilisée par la génératrice.



**Figure 3.8:** Multiplicateur de vitesse.

#### ➤ Le système de transmission par engrenage

Un engrenage est un mécanisme constitué de deux roues dentées mobiles en rotation autour deux axes. Ces roues sont caractérisées par leur diamètre et le nombre de dents qu'elles possèdent. L'une entraîne l'autre par l'action de dents successivement en contact, c'est la roue menante. La seconde à qui est transmis le mouvement est notée roue menée.

On fait la simulation de ce mécanisme par logiciel « SolidWorks »

#### ➤ SolidWorks

est un logiciel propriétaire de conception assistée par ordinateur 3D fonctionnant sous Windows.



**Figure 3.9:** Logo de logiciel «SolidWorks».

➤ Simulink in Solid Works

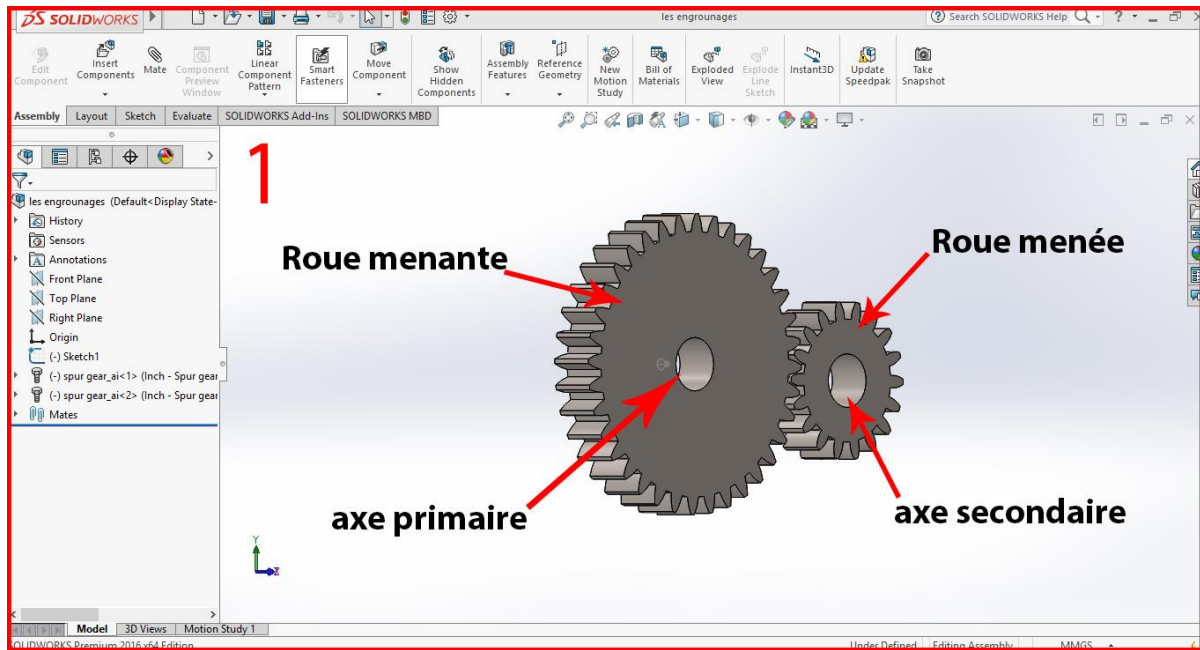


Figure 3.10: L'interface de programme qui peut être l'édition des modèles 3D.

Son rôle augmenter la vitesse de rotation de l'arbre coté de générateur à partir le rapport « r ».

$$r = \frac{\text{Nombre de dents de la roue menante}}{\text{Nombre de dents de la roue menée}} \quad (3.1)$$

Sachant que :

$$V_g = r \cdot V_{aer} \quad (3.2)$$

- $V_g$  : la vitesse de rotation de générateur.
- $V_{aer}$  : la vitesse de rotation de la roue menante

Nombre de dents de la roue menante	68
Nombre de dents de la roue menée	17
Raison r	$r = \frac{67}{17} \approx 4 > 1$

Tableau 3.3: calcule nombre de rotation.

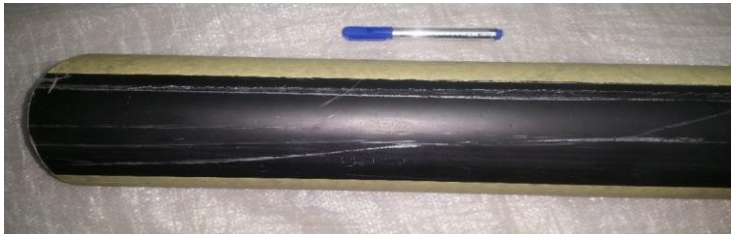
### 3.5 Les pales

Les aérogénérateurs modernes possèdent généralement trois pales. Cette configuration garantit un bon rendement et diminue les vibrations du fait d'une plus grande stabilité dynamique; elle est aussi jugée plus esthétique, Ainsi que l'angle entre les pales  $120^\circ$ .

Nous avons choisi un matériau de tuyau en PVC pour trois choses:

- Pas cher.
- plus esthétique.
- Bruissement de poids.

**a.** nous avons choisi tube PVC de 160 mm de diamètre et 4 mm d'épaisseur.



**b.** Couper le tube longitudinalement par Tronçonneuse.



**c.** Utiliser de scotch pour dessiner les pales, Puis il coupe à Tronçonneuse.



**Figure 3.11:** la forme finale de pale.

➤ **Dimensions des pales**

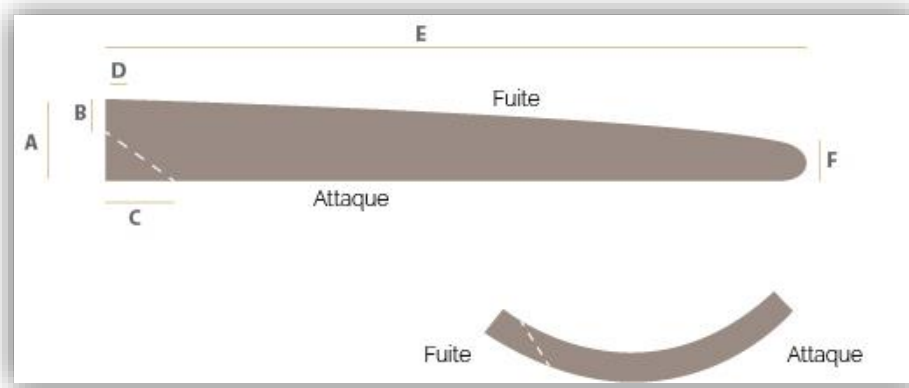


Figure 3.12: Dimensions des pales.

Diamètre d'éolienne	200 cm
A	15 cm
B	12 cm
C	6 cm
D	7 cm
E	90 cm
F	7 cm

Tableau 3.4: Dimensions des pales.

➤ **Support des Pales** : Est une plaque métallique épaisseur 1.8 mm raccorder les pales avec le rotor

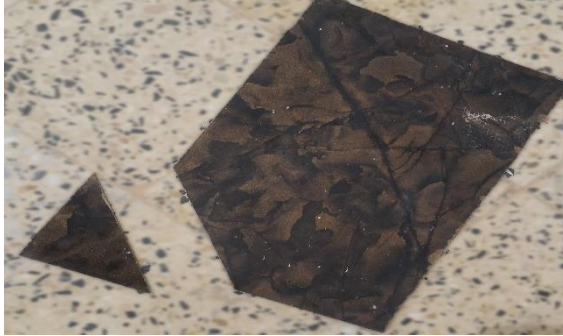


Figure 3.13: Support des Pales.

### 3.6 La girouette

Les girouettes déterminent la direction du vent. L'évaluation de la direction du vent permet d'optimiser le positionnement des éoliennes. Il est essentiel qu'une girouette couvre un champ de 360°.

1) L'utilisation de Tronçonneuse pour coupe.



2) peinture le contreplaqué et mettre en place.



Figure 3.14: La girouette.

### 3.7 Anémomètre

Appareil de mesure de la vitesse du vent.



Figure 3.15: Anémomètre.

#### 4. 2<sup>ème</sup> partie : l'armoire électrique

Est un dispositif indispensable dans les installations électriques. Il joue un rôle essentiel dans le système éolien. Notre armoire compose de : convertisseur DC/DC « **hacheur boost** » , régulateur et batterie.

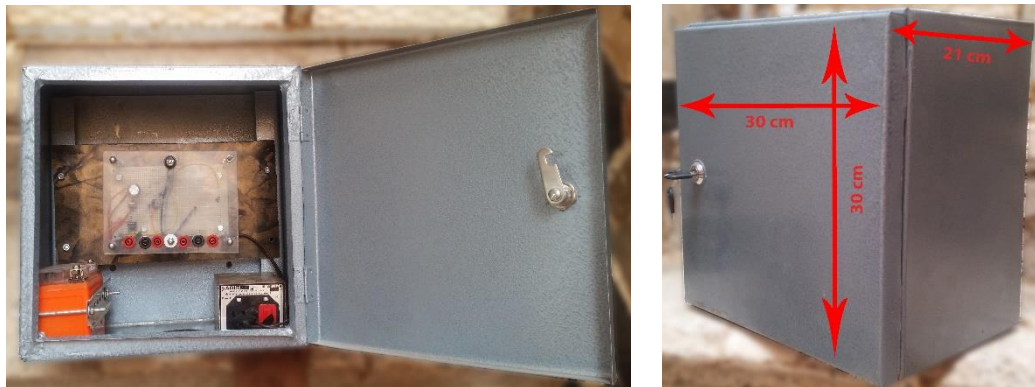


Figure 3.16: armoire électrique.

##### 4.1. Hacheur (Boost)

Le hacheur **boost** ou (survolteur , élévateur.....) est essentiellement utilisé pour la conversion DC/DC.

##### ➤ Schéma de convertisseur Boost

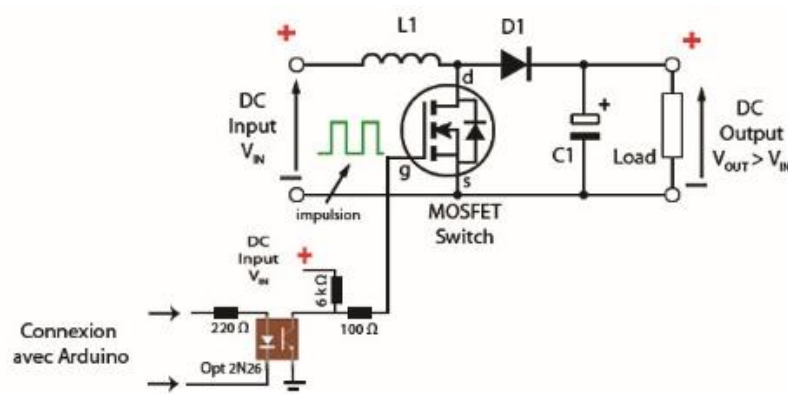


Figure 3.17: Schéma de convertisseur (Boost).

Le hacheur **boost** est constitué d'un **semi-conducteur** alimenté sous la tension  $U_e$  délivrée par la source, qui se comporte en interrupteur commandé à l'amorçage (transistor bipolaire, MOS, IGBT...) et une **diode** (amorçage et blocage spontanés) de manière périodique, avec un angle de **commande  $\alpha$** .

- **L'inductance L** permet de lisser le courant appelé sur la source. Elle stocke de l'énergie électrique puis la restitue pour créer la surtension.
- **Le condensateur C** permet de limiter l'ondulation de tension de sortie.

$$V_{out} = \frac{V_{in}}{1-\alpha} \tag{3.3}$$

- L'élévation de la tension de sortie du hacheur BOOST est obtenue grâce à une commande direct de valeur de  **$\alpha$  par carte arduino.**

➤ **Le travail appliqué**

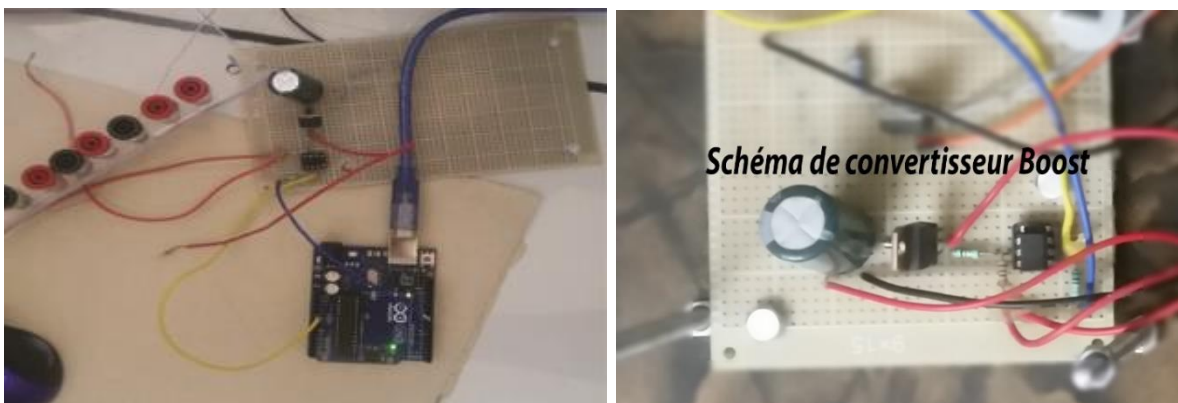


Figure 3.18: circuit hacheur (BOOST).

➤ **Tableau des composants utilisés dans le schéma**







					
Transistor MOSFET IRF830	Capacitance 2200 µF	Optocoupler 2N26	Diode 1n4007	Les resistances: 220Ω – 6kΩ -100 Ω	L'inductance 5 mH

Tableau 3.5: composants utilisés dans le circuit hacheur (BOOST).

## 4.2. Régulateur de charge

Un régulateur de tension, est un composant électronique qui maintient à sa sortie, dans certaines limites, une tension constante, indépendamment de la charge et de la tension d'entrée.

Nous avons utilisé dans notre système pour fixer la tension de convertisseur « hacher », afin de pouvoir stocker dans la batterie.

### ➤ Schéma Régulateur de charge

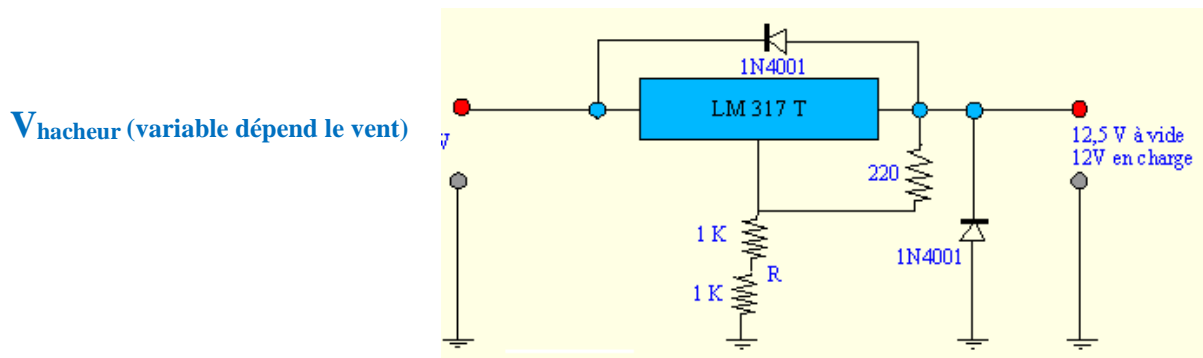


Figure 3.19: Schéma Régulateur de charge.

### ➤ Le travail appliqué

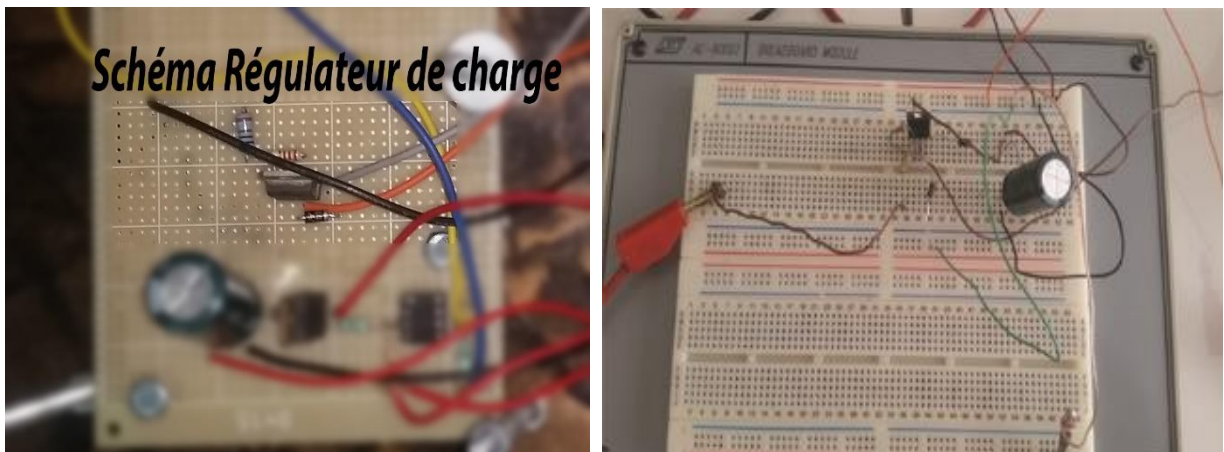











Figure 3.20: circuit régulateur de charge.

➤ **Tableau des composants utilisés dans le schéma**

		
Régulateur de charge LM317T	2-Diode 1N4001	Résistance 220Ω- 2 kΩ

**Tableau 3.6:** composants utilisés dans le circuit Régulateur de charge.

➤ **Outils Aider pour faciliter le travail**

		
Carte circuit imprimé PVC 15×9 cm	Plaque PVC glacé16×12cm	Borne mâle femelle
		
Fuse protection 2A	Fils de connexion	Tige filetée Ø 8mm

**Tableau 3.7:** Outils Aider pour faciliter le travail.

### 4.3. Arduino UNO

#### a. Définition

Arduino est une plate-forme de prototypage d'objets interactifs à usage créatif constituée d'une carte électronique et d'un environnement de programmation.

La carte Arduino repose sur un circuit intégré (un mini ordinateur appelé également micro-contrôleur) associée à des entrées et sorties qui permettent à l'utilisateur de brancher différents types d'éléments externes.



Figure 3.21: Arduino UNO

#### Alimentation autonome

**Batterie 9V:** Cette pile est idéale car commune, avec un faible encombrement et se trouvant dans la plage de tension recommandée (entre 7 et 12V).



Figure 3.22: Alimentation Arduino UNO

#### Logiciel de programmation « MATLAB »

La carte Arduino programmé par l'environnement MATLAB/SIMULINK (R2013a),

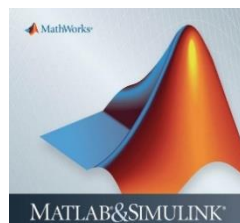
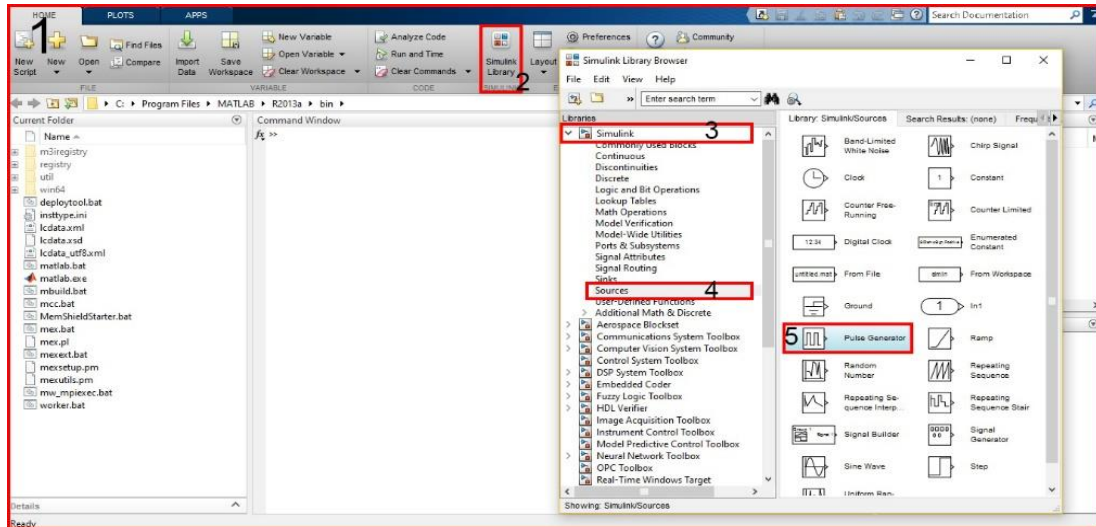
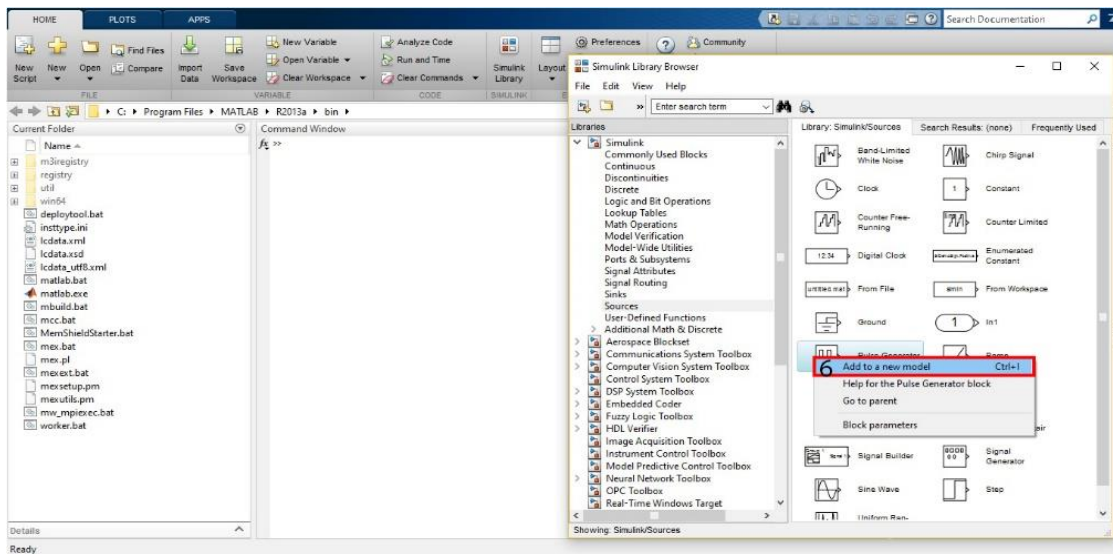


Figure 3.23: Logo de Logiciel de « MATLAB ».

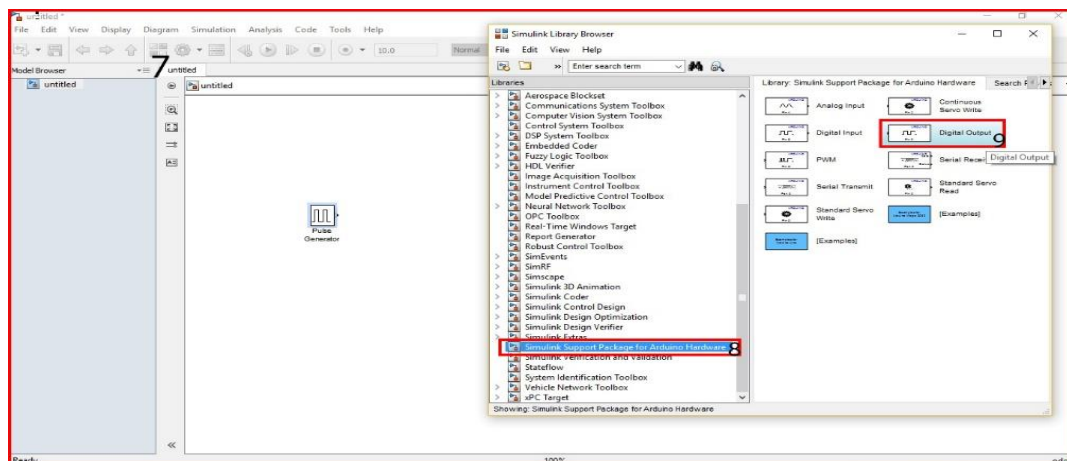
- Les étapes de simulation et de transmission de données à la carte Arduino ou MATLAB/SIMULINK :



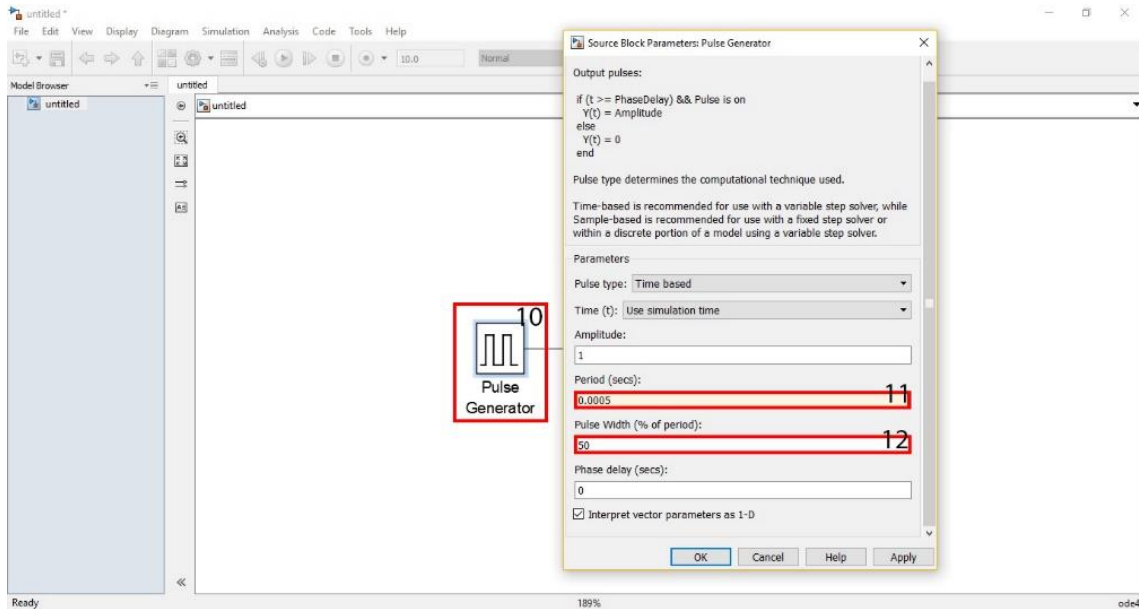
- 1) Interface programme Matlab.
- 2) Le début de la bibliothèque de simulation.
- 5) choisir "pulse generator".



- 6) click sur la souris à droite ensuite choisir "add to a new model".



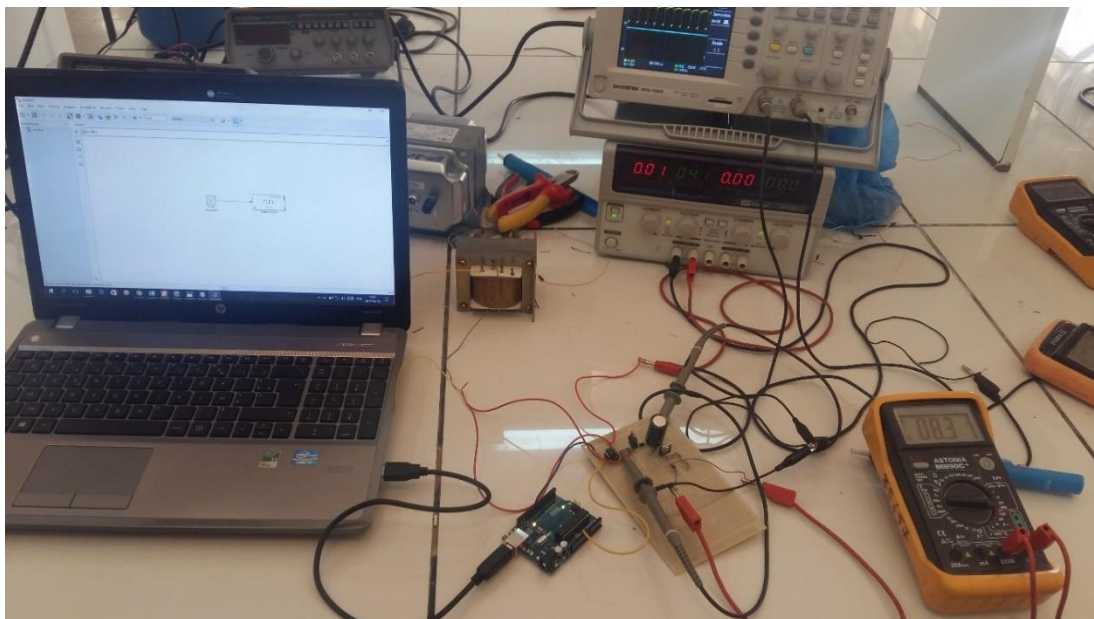
- 7) Environnement de travail de simulation.
- 8) Choisir «simulink support package for arduino hardware».
- 9) Utiliser "Digital Output".



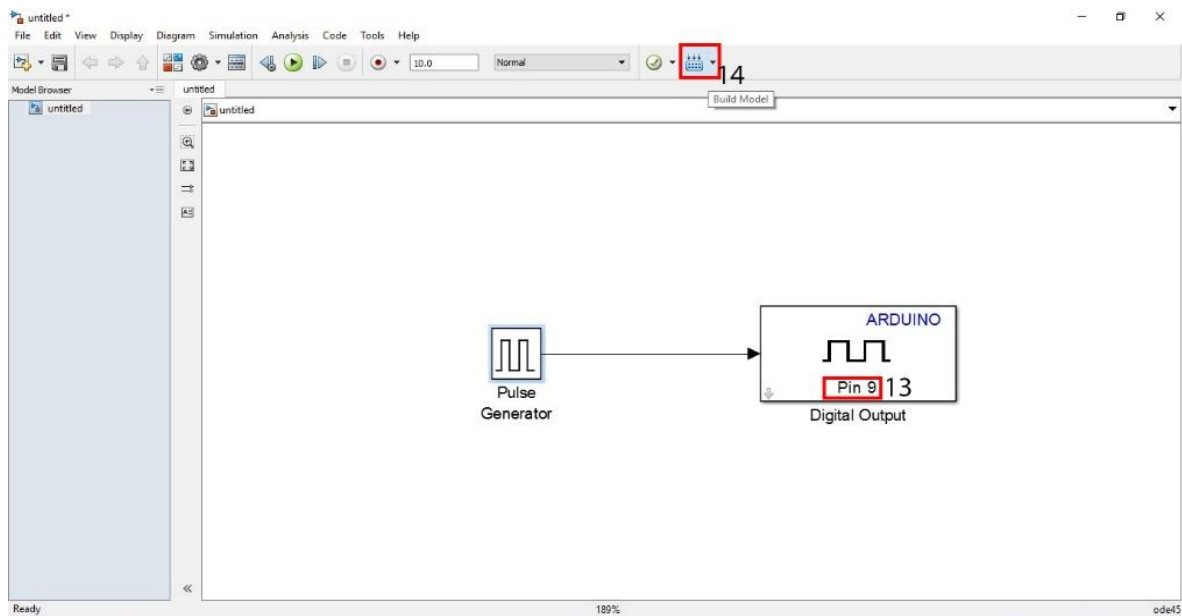
10) double click sur "Pulse generator" Pour modifier les valeurs.

11) Garder la période "0.0005" pour obtenir de la fréquence de commutation « 2KHz »

12) Garder à "Pulse width" "50%" :  $\alpha=50\%$



➤ liaison de arduino avec l'ordinateur .



13) choisir la sortie pin "9".

14) en fin, un click sur "BuildModel" Pour envoyer des données à la carte Arduino.

#### 4.4. Installation réalisé

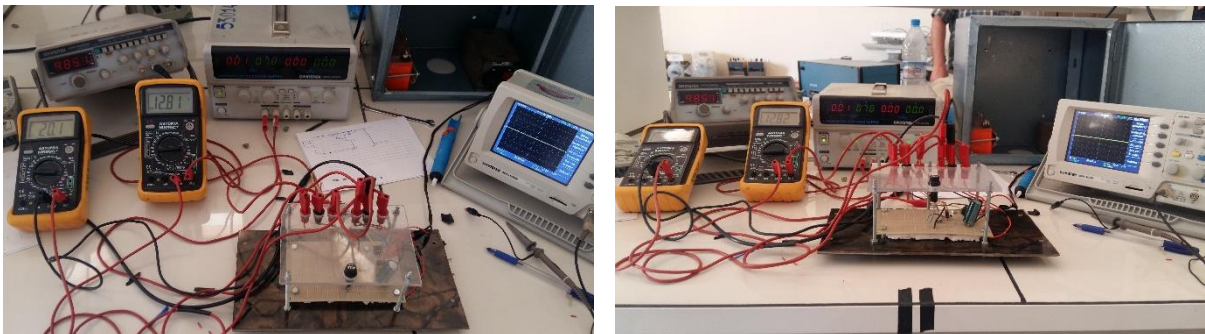


Figure 3.24: vérification de mesures donnés par l'installation.

#### 4.5. Batterie de Stockage

Nous rappelons que la batterie est un moyen de stockage énergétique, qui permet de palier aux problèmes engendrés par les variations climatiques. Pour notre système, utiliser un hacheur boost avec un régulateur Comme nous avons parlé dans le paragraphe précédent pour obtenir à la sortie du régulateur une tension de 12.8V.

Le tableau suivante montre que la caractéristique de batterie que on à utilise dans notre projet.

Voltage V	12
Capacité A/h	4
Longueur mm	120
Largeur mm	70
Hauteur mm	92
Poids Kg	1.5
Référence simplifiée	YB4L-BS
Durée de vie	2 ans

**Tableau 3.8:** Caractéristiques techniques de la batterie.

La figure ci-dessous représente les batteries qu'on a utilisées dans notre projet :



**Figure 3.25:** photo de la batterie du système.

## 5. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons réalisé pratique de différent partie de générateur éolienne à axe horizontal tri-pales avec l'armoire de commande est basé sur le convertisseur DC/DC boost et le régulateur commandé par la carte arduino « UNO », pour adapter le système quelque soit les variations de vitesse de vent, en temps réel pour stocker l'énergie électrique ou batterie.

# **Chapitre IV : Résultats Et discussions**

### 1. Introduction

On s'intéresse dans ce chapitre à l'association des différentes parties étudiées (le générateur éolienne, l'armoire de commande et batterie) qui présente un système éolien global.

Nous allons expérimenter dans les différents jours et différents temps, ou la vitesse du vent variable, nous allons installer l'éolienne sur le toit du deuxième étage environ 15 m.

### 2. La météo à El-Oued

Le climat de la région est de type saharien caractérisé par un été chaud et sec où la température peut atteindre 54°C et un hiver doux. Les principales contraintes climatiques restent la fréquence régulière des vents et leur violence connue sous le nom de Sirocco ainsi que des vents de sable durant le printemps [12].

La figure (4.1) représente que de la température maximale à El Oued montre le nombre de jours par mois qui atteignent certaines températures.

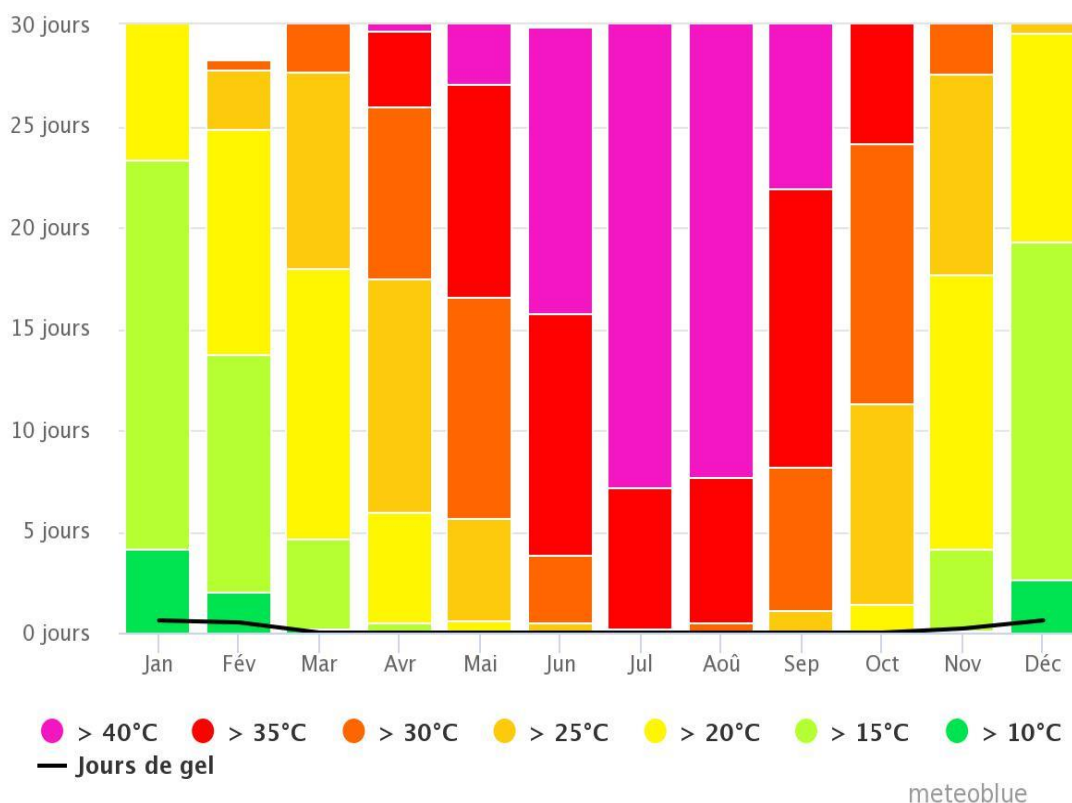


Figure 4.1 : Les températures maximales à El-oued dans 30 ans [12].

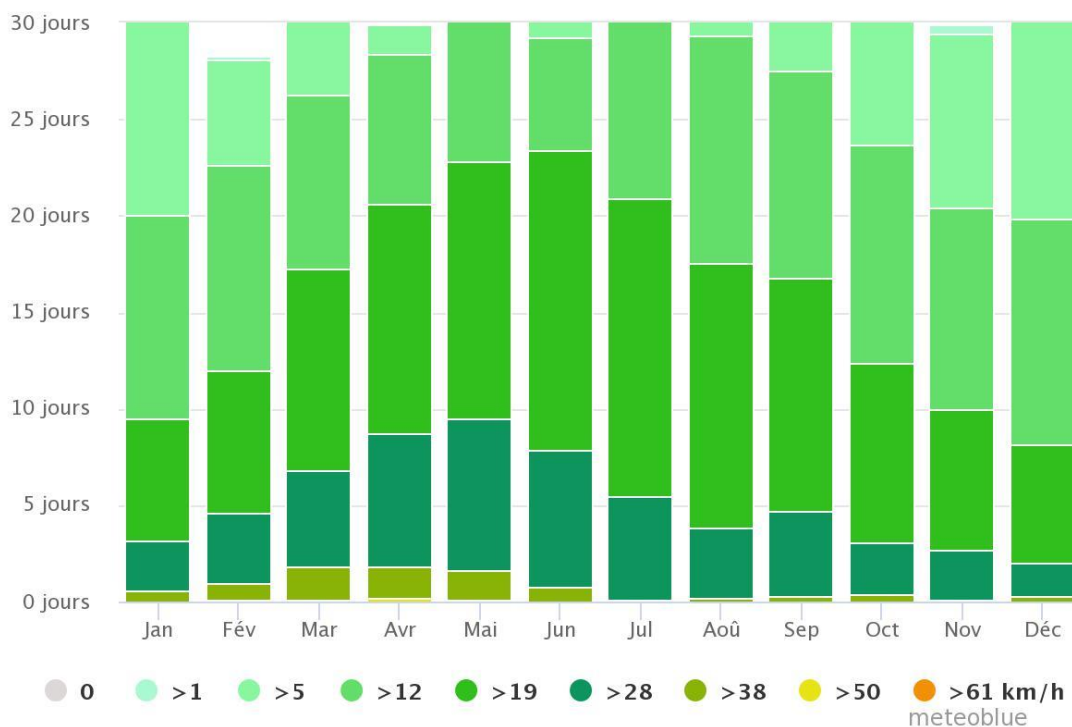


Figure 4.2 : La vitesse du vent à EL oued.[12]

La figure (4.2) montre que combien de jours dans un mois peuvent être attendus pour atteindre certaines vitesses de vent. Moussons créent de forts vents stables, à ELoued.

### 3. Les résultats expérimentaux

Ces mesures sont prises dans différents jours en termes de vitesse du vent et à la même heure chaque jour de mesure

#### 3.1. Les Tableaux des résultats

Le premier jour		La Date : 07/05/2017		La météo : Semi-stable	
les temps	la vitesse du vent [m/s]	les tensions produits [v]			
		le produit par la générateur	les sortie de hacheur boost	les	sortie de regulateur
09:30	10	8	16		12.8
09:45	9	7	14		12.8
10:00	11	9	18		12.8
10:15	10.5	8.5	17		12.8
10:30	10	8	16		12.8
10:45	9	7	14		12.8
11:00	8	6	12		12
11:15	7	5	10		10
11:30	9	7	14		12.8
11:45	7	5	10		10
12:00	8	6	12		12.8
12:15	10	8	16		12.8

Tableau 4.1 : Tensions produits pour la vitesse du vent le premier jour (07/05/2017)

Le deuxième jour		la Date : 09/05/2017		la météo : stable	
les temps	la vitesse du vent [m /s]	les tensions produits [v]			
		le produit par la générateur	les sortie de hacheur boost	les sortie de regulateur	
09:30	6	4	8	8	
09:45	8	6	12	12	
10:00	7	5	10	10	
10:15	7	5	10	10	
10:30	7.5	5.5	11	11	
10:45	8	6	12	12	
11:00	9	7	14	12.8	
11:15	6	4	8	8	
11:30	6	4	8	8	
11:45	6.5	4.5	9	9	
12:00	5	3	6	6	
12:15	5.5	3.5	7	7	

**Tableau 4.2 :** Tensions produits pour la vitesse du vent le deuxième jour (09/05/2017)

Le troisième jour		La Date : 11/05/2017		La météo : stable	
les temps	la vitesse du vent [m /s]	les tensions produits [v]			
		le produit par la générateur	les sortie de hacheur boost	les sortie de regulateur	
09:30	7.5	5.5	11	11	
09:45	7	5	10	10	
10:00	8	6	12	12	
10:15	8.5	6.5	13	12.8	
10:30	9	7	14	12.8	
10:45	8	6	12	12	
11:00	9	7	14	12.8	
11:15	6	4	8	8	
11:30	6.5	4.5	9	9	
11:45	6.5	4.5	9	9	
12:00	5	3	6	6	
12:15	5.5	3.3	7	7	

**Tableau 4.3 :** Tensions produits pour la vitesse du vent le troisième jour (11/05/2017)

Le quatrième jour		La Date : 14/05/2017		La météo : Semi-stable	
les temps	la vitesse du vent [m /s]	les tensions produits [v]			
		le produit par la générateur	les sortie de hacheur boost	les sortie de regulateur	
09:30	10	8	16	12.8	
09:45	9.5	7.5	15	12.8	
10:00	8	6	12	12	
10:15	9	7	14	12.8	
10:30	9	7	14	12.8	
10:45	9.5	7.5	15	12.8	
11:00	9	7	14	12.8	
11:15	9	7	14	12.8	
11:30	8	6	12	12	
11:45	7.5	5.5	11	11	
12:00	7	5	10	10	
12:15	8	6	12	12	

**Tableau 4.4 :** Tensions produits pour la vitesse du vent le quatrième jour (14/05/2017)

Le cinquième jour		La Date : 16/05/2017		La météo : Semi-stable	
les temps	la vitesse du vent [m /s]	les tensions produits [v]			
		le produit par la générateur	les sortie de hacheur boost	les sortie de regulateur	
09:30	11	9	18	12.8	
09:45	9.5	7.5	15	12.8	
10:00	10	8	16	12.8	
10:15	9	7	14	12.8	
10:30	10.5	8.5	17	12.8	
10:45	9.5	7.5	15	12.8	
11:00	9	7	14	12.8	
11:15	9.5	7.5	15	12.8	
11:30	8	6	12	12	
11:45	7.5	5.5	11	11	
12:00	8.5	6.5	13	12.8	
12:15	8	6	12	12	

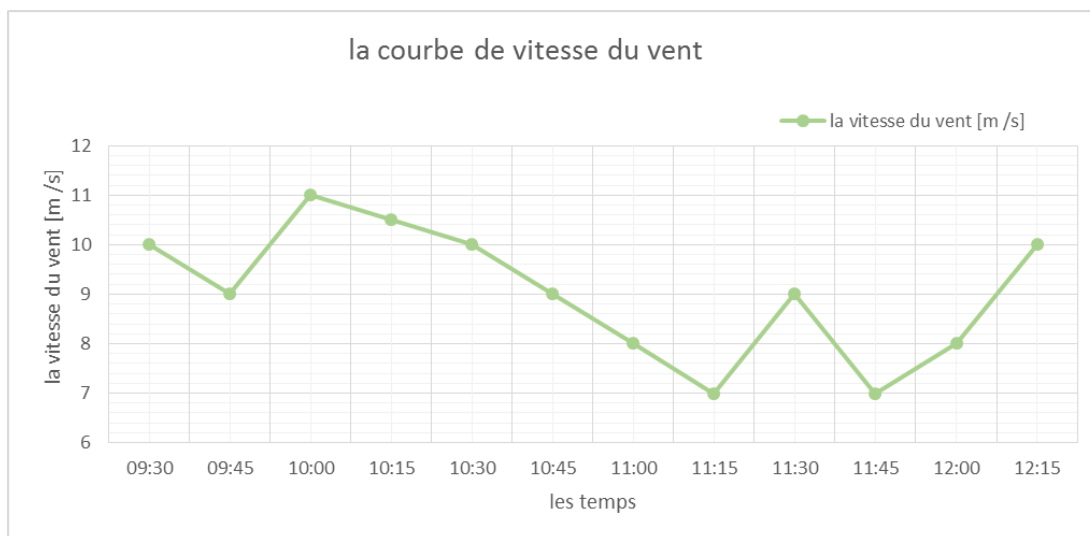
Tableau 4.5 : Tensions produits pour la vitesse du vent le quatrième jour (16/05/2017)

### 3.1.1. Discussion

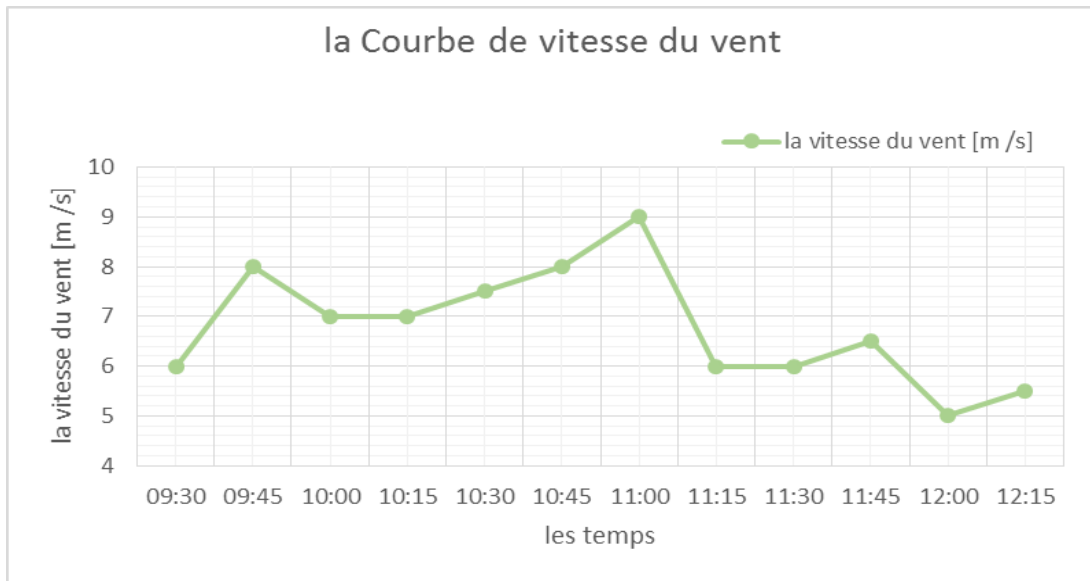
Les tableaux, ci-dessus représente que les résultats expérimentaux de vitesse de vent et les tentions générée au niveau de générateur éolienne et les étages de l’armoire de commande (hacher boost avec le régulateur) dans différents jours et différents temps.

Nous exprimons les informations des tableaux dans les courbes suivantes.

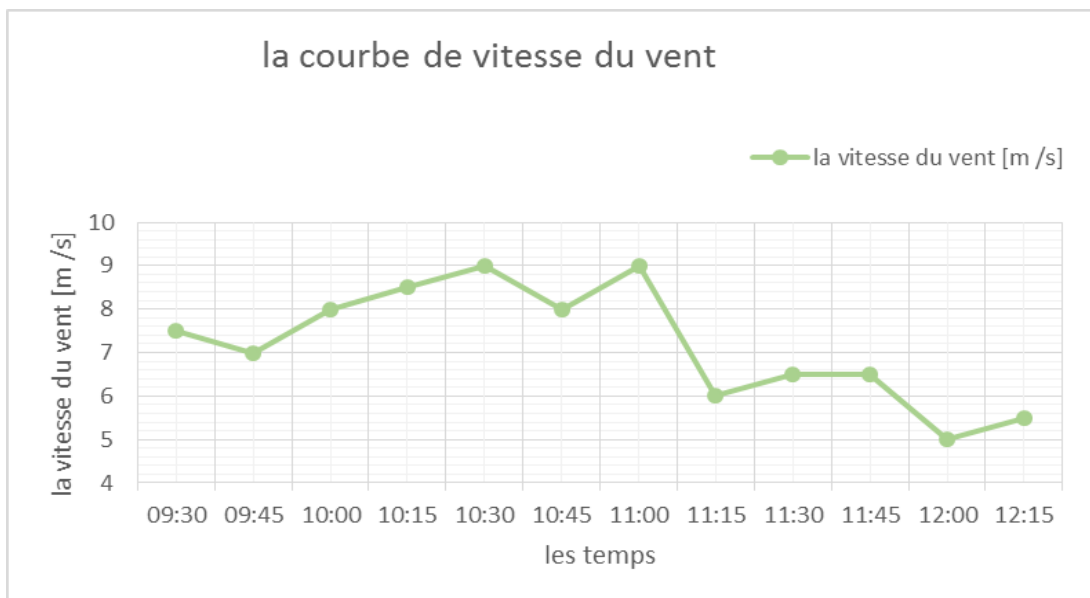
### 3.2. Les courbes de vitesse du vent



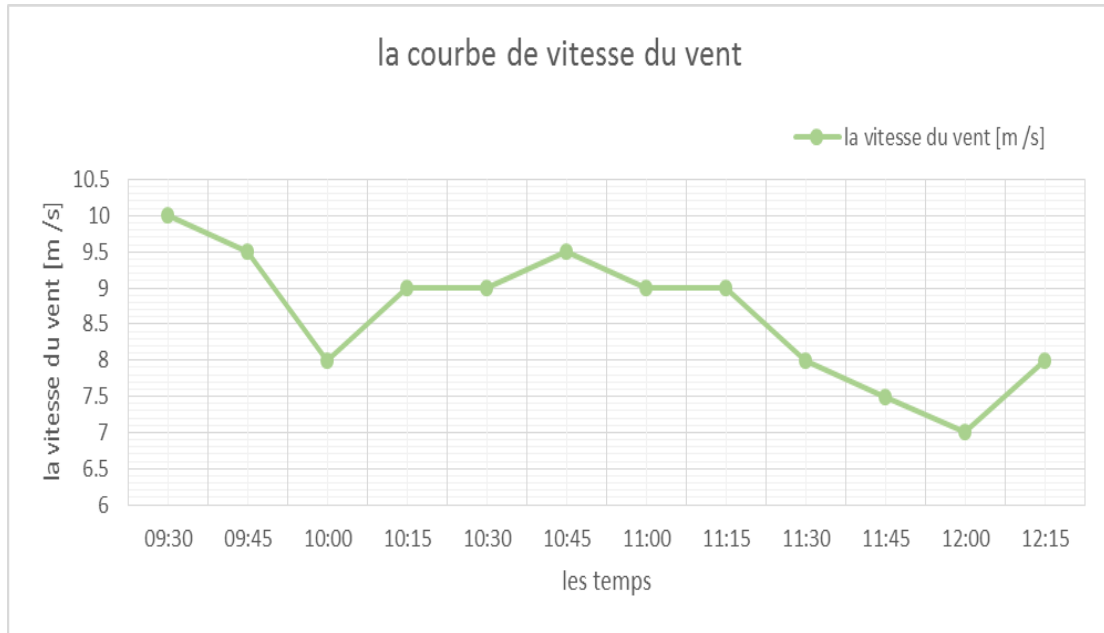
(a)



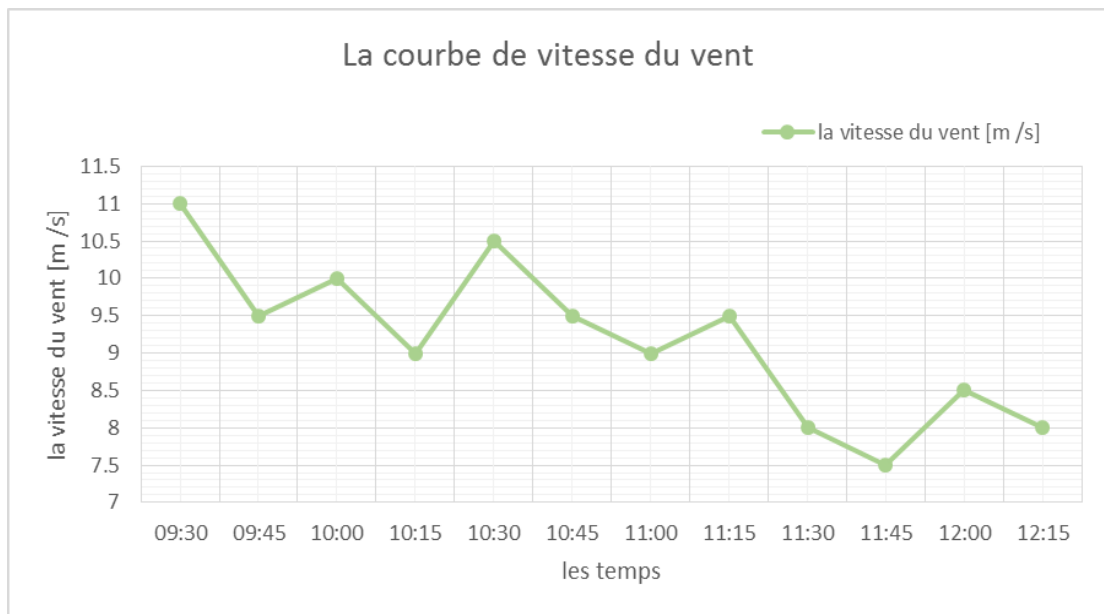
(b)



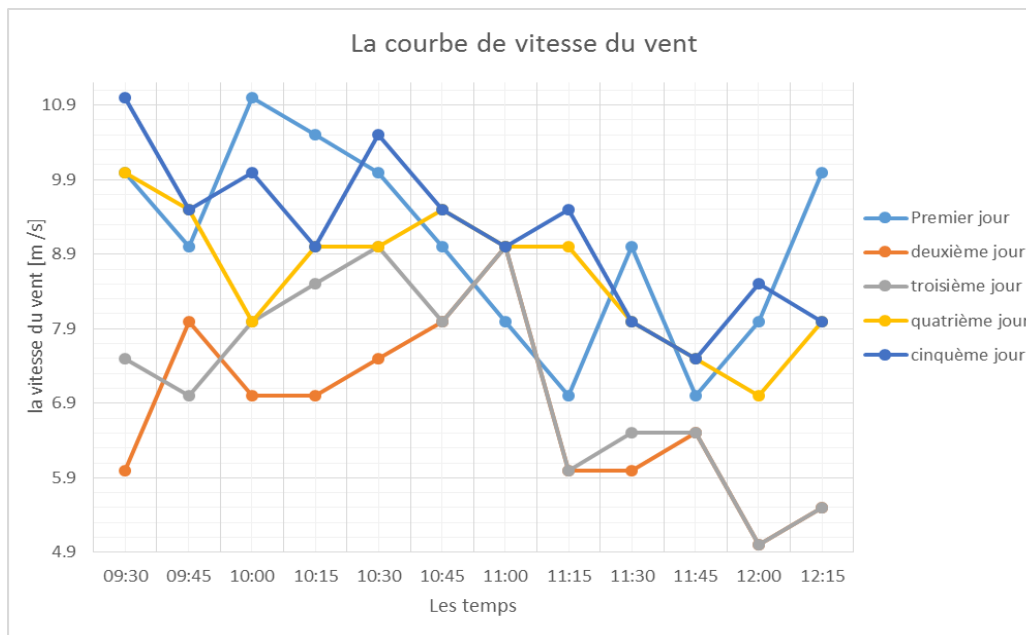
(c)



(d)



(e)



(f)

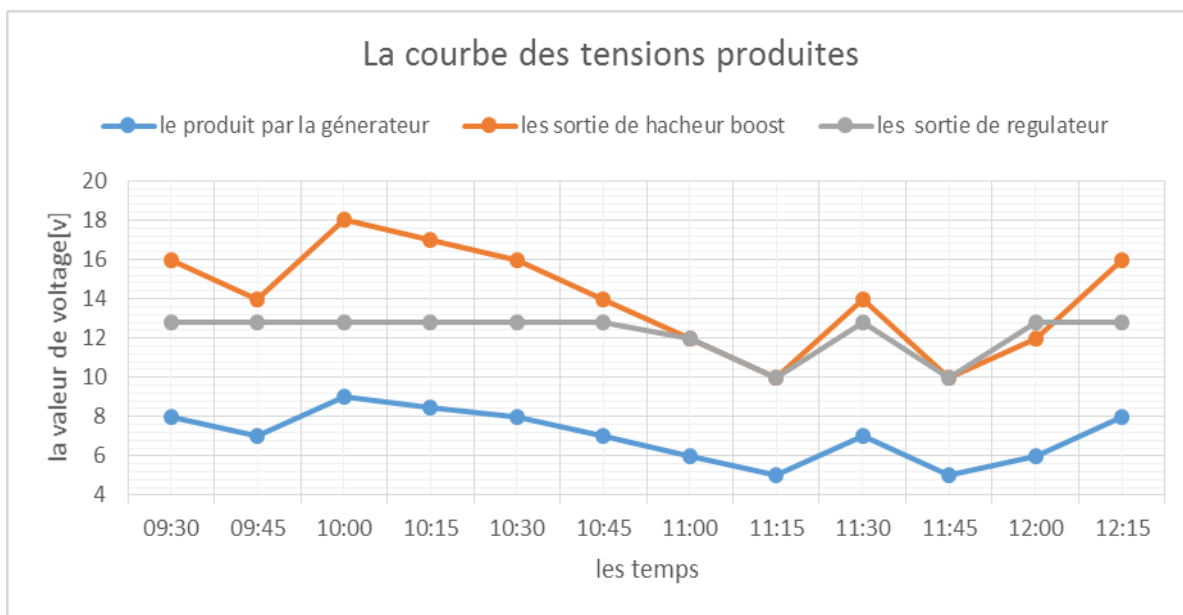
Figure 4.3 : Les courbes de vitesse du vent

- (a) Courbe de vitesse du vent pour le premier jour (07/05/2017)
- (b) Courbe de vitesse du vent pour le deuxième jour (09/05/2017)
- (c) Courbe de vitesse du vent pour le troisième jour (11/05/2017)
- (d) Courbe de vitesse du le vent pour le quatrième jour (14/05/2017)
- (e) Courbe de vitesse du vent pour le cinquième jour (16/05/2017)
- (f) Courbe de vitesse du vent en dans les jours de l'expérience

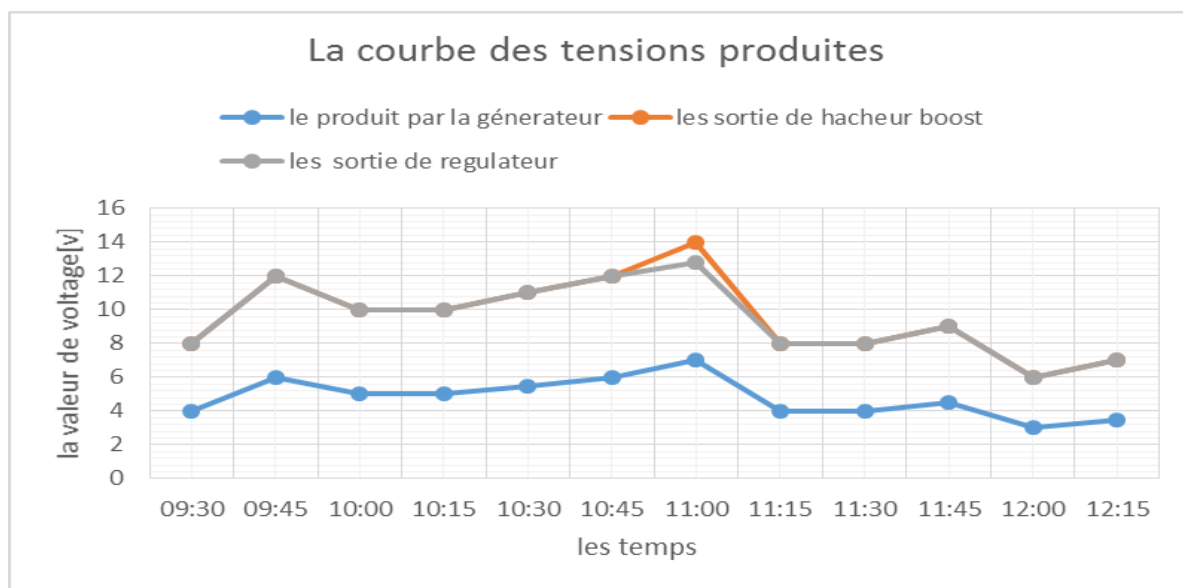
### 3.2.1. Discussion

La figure4.3 représente que la valeur de la vitesse du vent à plusieurs moments de la journée et de plusieurs jours, nous remarquons que la vitesse du vent varie entre la valeur maximale (11 volts) et de valeur minimale (5 volts).

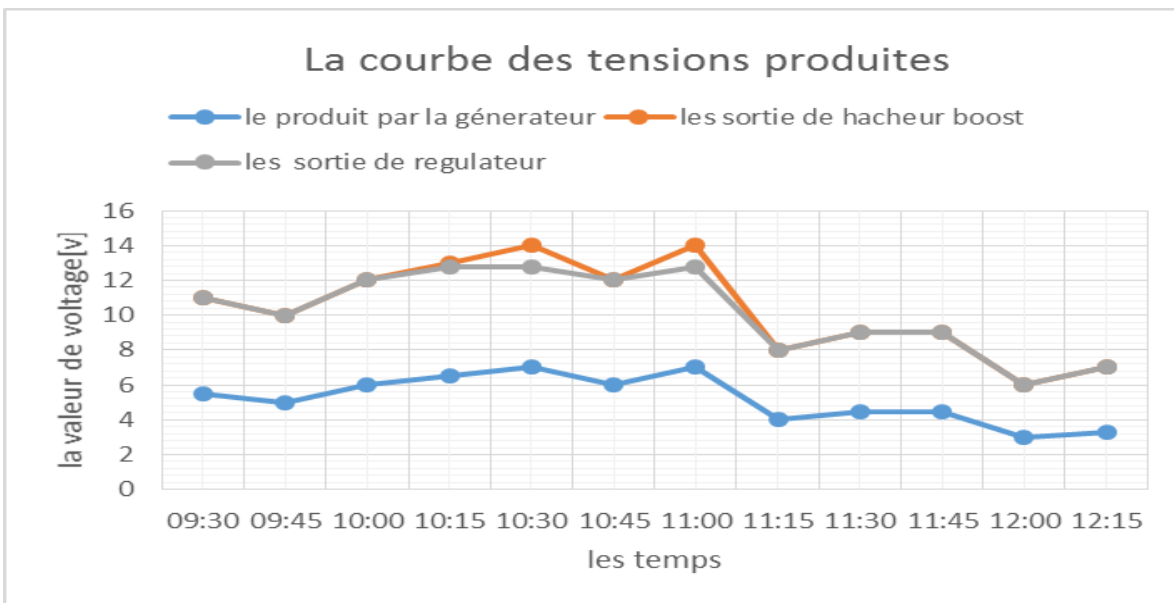
### 3.3. Les courbes des tensions



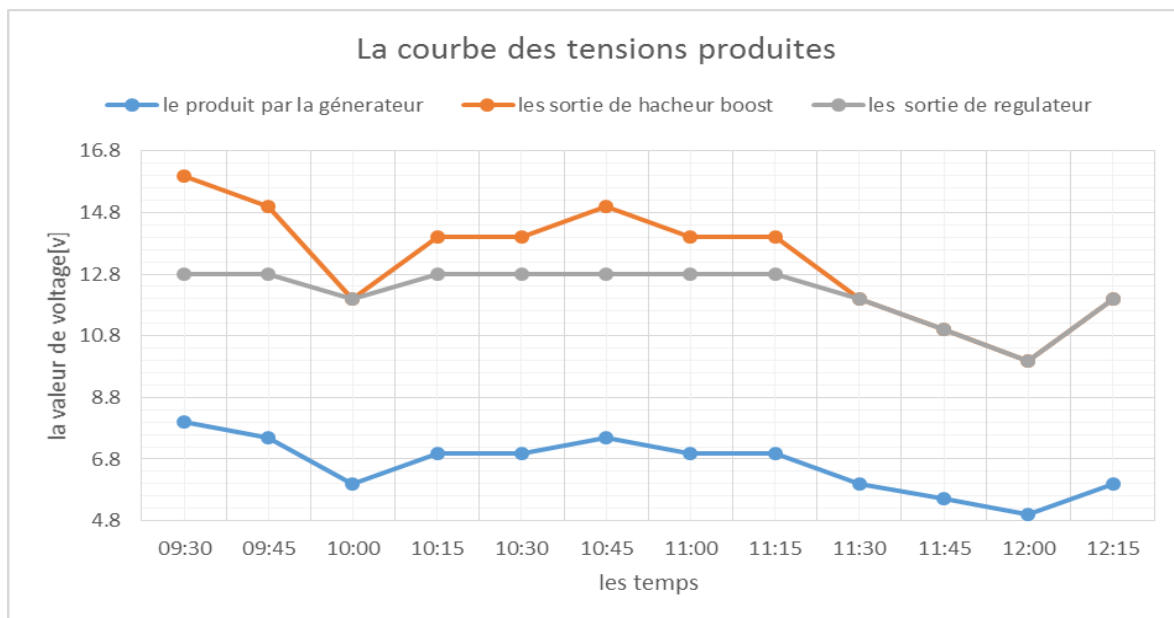
(a)



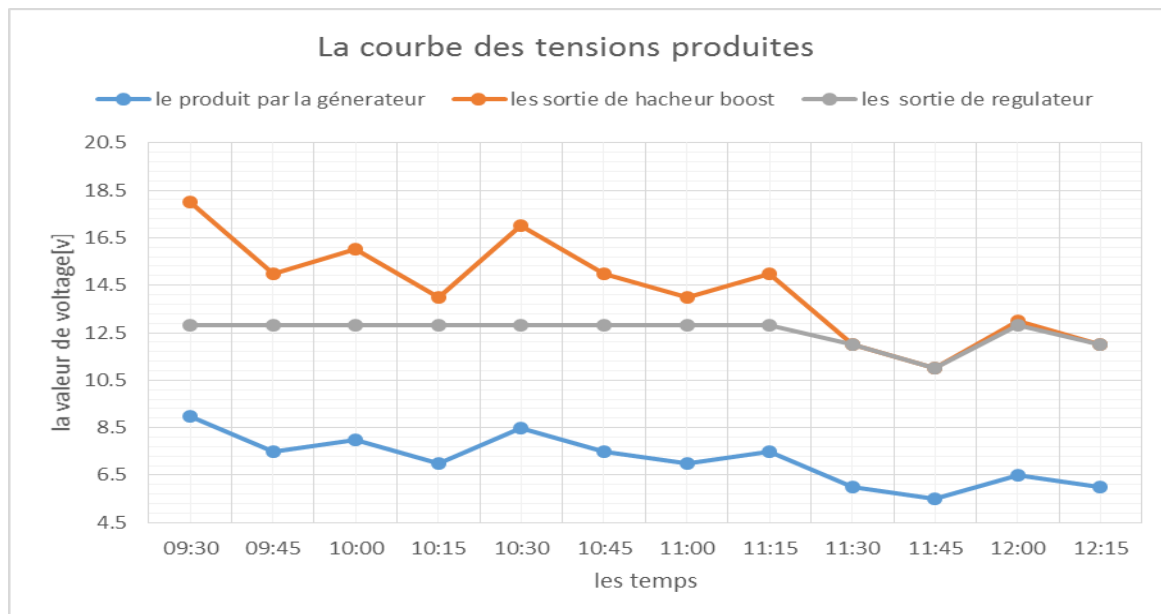
(b)



(c)



(d)



(e)

**Figure 4.4 :** Les courbes des tensions produites

- (a) Courbe des tensions produites pour le premier jour (07/05/2017)
- (b) Courbe des tensions produites pour le deuxième jour (09/05/2017)
- (c) Courbe des tensions produites pour le troisième jour (11/05/2017)
- (d) Courbe des tensions produites pour le quatrième jour (14/05/2017)
- (e) Courbe des tensions produites pour le cinquième jour (16/05/2017)

### 3.3.1. Discussion

Les figures 4.4 montre que les valeurs des tensions au les sorties de générateur, de hacheur boost et de régulateur, Où l'on note que :

- ✓ les tensions ont produit par le générateur un peut faible (entre [03v – 09v]) par apport la valeur de tension nécessaire pour stocker dans la batterie à 12v, ce pour cela utilisé l'hacheur boost pour augmenter la valeur de tension.
- ✓ nous contrôlons la valeur de tension de l'hacheur par la carte arduino où doubler la tension de générateur au sortie de l'hacheur (entre [6v-18v]).
- ✓ le régulateur fixe la valeur de sortie de système au presque 12.8v pour pouvoir de stocker dans la batterie.

## 4. Conclusion

En dernière phase de l'étude on intégra la différente partie de notre système (le générateur éolienne, l'armoire de commande et batterie) et installer ce dernière à une hauteur de 15 m. Nous avons des expériences aux différents jours et au différent moment, le système marche plus efficace et adapter ente eux quel que soit la variation de vitesse de vent.

# **Conclusion Générale**

## **Conclusion Générale**

Grâce aux améliorations technologiques qui ont permis les réductions des coûts, la filière éolienne occupe actuellement une part de plus en plus importante dans le bilan énergétique de nombreux pays, et elle représente aujourd'hui une production mondiale de 60 000 MW.

Cette source d'énergie a aussi l'avantage d'être écologiquement très propre puisqu'un parc d'aérogénérateurs n'émet ni polluants ni gaz à effet de serre et qu'il ne génère pas de déchets et ne comporte que des risques mineurs sur l'environnement. On peut conclure que le bilan écologique de l'énergie éolienne est très positif.

En Algérie les réalisations dans le domaine de l'énergie éolienne sont très limitées en comparaison avec l'actuelle évolution mondiale dans ce domaine, qui a atteint des objectifs très avancés. Aussi la part des énergies renouvelables dans le bilan énergétique national est très faible par rapport aux pays voisins puisque elle ne représente que 0,02 % de la consommation nationale d'électricité.

Dans le domaine de la modélisation aérodynamique, la forme optimale de l'hélice d'un aérogénérateur ainsi que les efforts aérodynamiques serviront pour évaluer les performances énergétiques, mais sachant aussi bien que l'optimisation de la vitesse de rotation vers l'alternateur est un facteur positif pour produire encore plus d'énergie électrique. La conception optimale de la boîte de vitesse d'une éolienne se démontre par la grandeur de son rapport multiplicateur de vitesse de rotation permettant l'utilisation d'un générateur de courant électrique plus performant.

### ***Difficultés rencontrées***

Au cours de notre travail nous n'avons pas échappés à quelques problèmes :

Il y a Compris la difficulté de la construction et de la difficulté d'accès aux composants de l'éolienne dont l'alternateur et les composants de la trésorerie. Ainsi que les coûts de réalisation.

*Suggestions et perspectives*

Suite aux résultats obtenus dans cette étude, des perspectives intéressantes peuvent :

- la mise en place des éoliennes et le prix le plus bas pour rendre plus efficace
- la région d'El-Oued peut exploiter le vent existant tout au long de l'année et produire de l'électricité
- Mise au point de l'installation de la turbine éolienne pour alimenter le réseau.

## Réfirance

- [1] © Risø-DTU Wind Energy Division 2008
- [2] R. Swisher, C. Real de Azua, J. Clendenin, « Strong winds on the horizon: wind power comes of age », proceedings of the IEEE, vol. 89, N°. 12, December 2001, pp. 1757-1764.
- [3] Louis-Charles FORCIER, " conception d'une pale d'éolienne de grande envergure à l'aide de techniques d'optimisation structurale " école de technologie Supérieure université du Québec, le 1er septembre 2010.
- [4] Lautre, Y. (2014). Petites éoliennes: Du lundi 28 avril au vendredi 2 mai 2014 stage à Saint Vérain (58)//Terre à terre de Ruth Stégassy à écouter.
- [5] Plaut, E. *Turbomachines - énergies hydraulique et éolienne 2015/2016..*  
<http://energie.mines-nancy.univ-lorraine.fr/2A/turbo2a.pdf>.
- [6] Plaut, E. & Peinke, J. 2017 *Advanced Fluid Mechanics. Transition to Turbulence & Turbulence. Applications to Transfers, Aerodynamics & Wind Energy*. Cours de l'école des Mines de Nancy (3A), téléchargeable sur  
<http://emmanuelplaut.perso.univlorraine.fr/afm/pol.pdf>.
- [7] Mahri, Z., Rouabah, M. & Zid, S. 2007 Calcul des efforts aérodynamiques agissant sur les pales d'une petite éolienne. *Revue des Energies Renouvelables* **10** (2), 241{256
- [8] Caballina, O. 2011{2012 *Notions théoriques sur les éoliennes*. Cours ENSEM 3A - Filière énergie.
- [9] E. Hau, *Wind Turbines: Fundamentals, Technologies, Application, Economics*, edition. Berlin, Germany: Springer, 2006
- [10] Hugo. Eduardo. Mena. Lopez, *Maximum power tracking control scheme for wind generator systems*, 2007
- [11] S. N. Bhadra, D. Kastha, S. Banerjee, *Wind Electrical Systems*, Oxford, UK: Oxford University Press, 2005.
- [12] [www.meteoblue.com](http://www.meteoblue.com)

**Titre du mémoire :** ETUDE EXPERIMENTALE D'UN SYSTEME EOLIEN A CITE ISOLE.

**Master :** Energétique et Énergies renouvelables

**Mots clés :** vitesse du vent, aérodynamique, petite éolienne, Hacheur Boost, Régulateur charge

**Résumé :**

Nous avons une étude pilote axée sur la production d'électricité par éolienne et stockée dans des batteries dans un système isolé sur les réseaux électriques dans la région d'El-Oued, où nous avons mis en place une petite éolienne et installée sur le toit des départements du collège sur la hauteur d'environ 15 mètres où en utilisant Simulations « SOLIDWORKS » et des programmes « Matlab » pour faciliter travail et de clarifier l'idée, où nous avons obtenu des résultats positifs.

---

**Report title:** EXPERIMENTAL STUDY OF A WIND TURBINE SYSTEM

**Keywords:** Wind speed, aerodynamics, small wind turbine, Hacheur Boost, charge regulator

**Abstract:**

We have a pilot study focusing on electricity generation by wind turbine and stored in batteries in an isolated system on the power grids in the El-Oued region, where we installed a small wind turbine and installed on the roof Of the college departments on the height of about 15 meters where using Simulations "SOLIDWORKS" and "Matlab" programs to facilitate work and clarify the idea, where we got positive results.

---

**عنوان المذكرة:** دراسة تطبيقية لنظام التربينه الهوائية في النظام المعزول

**الكلمات المفتاحية:** سرعة الريح، الهوائية، توربينات الرياح الصغيرة

**الملخص:**

قمنا بدراسة تجريبية تتمحور حول إنتاج الكهرباء بواسطة التربينه الهوائية وتخزينها في بطاريات في نظام معزول على الشبكات الكهربائية في منطقة الوادي، حيث أنشأنا التربينه الهوائية الصغيرة وثبتناها على سطح أقسام الكلية على إرتفاع حوالي 15 متر حيث إستعنا ببرامج المحاكات "SOLIDWORKS" و "MATLAB" لتسهيل العمل وإيضاح الفكرة، حيث توصلنا الى نتائج ايجابية.