

I.1. Introduction :

L'énergie éolienne a évolué depuis sa création pour atteindre ce qu'elle est aujourd'hui, c'est ce que nous présentons dans ce chapitre, nous allons également expliquer les notions de cette énergie, ses types, ses inconvénients et ses avantages.

I.2. Historique de l'énergie éolienne :

L'homme utilisait l'énergie éolienne depuis l'Antiquité et l'utilisait comme énergie mécanique pour déplacer des bateaux à voiles (avant 3000 ans environ), et pour faire tourner des éoliennes pour irriguer des champs en Perse au Ve siècle av. Les éoliennes et les pompes à eau sont encore utilisées pour sécher les zones humides ou irriguer les zones sèches ou le bétail à nos jours.

À la fin du IXe siècle en Europe et en Angleterre en particulier, l'énergie éolienne a été utilisée directement par l'apparition des premiers moulins à vent pour broyer les grains qui généraliser dans tout l'Europe au XIIe siècle. Les moulins sont placés généralement sur des petits tertres et éminences, soit isolés, soit groupés, et disposent d'un axe horizontal fixe. Depuis la découverte de l'énergie éolienne, les chercheurs ont travaillé au développement de cette énergie.

Où En 1888, aux États-Unis, CHARLES F. BRUSH construit la première éolienne (Fig. I.1) qui produit de l'électricité. Cette éolienne d'une puissance de 12kW a permis de charger des batteries pour alimenter sa maison en électricité pendant 20 ans. Le rotor de l'éolienne constitué de 144 pales et du nez avait un diamètre de 17m [1].

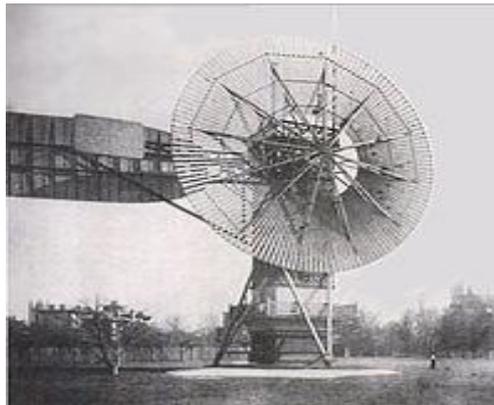


Fig.I.1 : la première éolienne qui produit l'électricité.

En 1891, le danois POUL LA COUR (1846–1908) met en place une éolienne (Fig. I.2) plus efficace permettant de produire 25 kW grâce à des rotors à 4 pales. Il met en évidence que les turbines à rotation rapide composées d'un nombre moins grand de pales apportent un meilleur rendement. Cette éolienne sera la première utilisée à l'échelle industrielle. [1]



Fig. I.2 : éolienne de POUL LA COUR de puissance 25 KW.

Au XXe siècle, les éoliennes vont se développer petit à petit. Dans les années 1920, GEORGES DARRIEUS imagine une éolienne à axe vertical. [1]



Fig.I.3 : éolienne axe verticale DARRIEUS.

En 1957, JOHANNES JUUL crée une turbine appelée GEDSER qui sert encore de modèle aux éoliennes actuelles. Les éoliennes utilisant ce type de turbine produisaient jusqu'à 1000 kW. [1]



Fig. I.4 : éolienne de GEDSER.

Le développement des éoliennes est freiné par la suite en raison de la grande consommation en énergies fossiles telles que le pétrole et le charbon, mais après premier choc pétrolier en 1970 e nombreux projets ont été mis en place pour exploiter largement l'énergie éolienne dans le monde et cette énergie pour la production de l'électricité Ce type d'éolienne est appelé aérogénérateur. Où l'énergie éolienne installée dans le monde entier, qui était d'environ 6 gigawatts en 1996, est passée à 336 gigawatts en juin 2014, elle est également respectueuse de l'environnement et ne présente aucun danger pour la santé humaine. [1]

I.3. Développement de l'énergie éolienne dans le monde :

La production d'énergie éolienne a augmenté de manière significative dans de nombreuses régions du monde, la Chine se classant première de 34.7% ces dernières années, suivie par les États-Unis de 16.9%, l'Allemagne de 10.3%, l'Inde de 5.9%. [2]. [3]

L'UE a décidé de produire 20 % de son électricité en énergie éolienne qui est propre et sûre en 2020 au reste de l'Europe . En 2017 la production est passée à 353,5 TWh [b1] , portant la puissance installée européenne à 169 GW.

L'Allemagne est de très loin le pays ayant installé le plus d'éoliennes en 2017, 56.1 GW supplémentaire, renforçant, là encore, sa place le premier du marché éolien européen et aussi dans le monde. [2]

En 2017, l'Amérique est placée au 3e rang du classement des continents par puissance éolienne installée avec 123 212 MW, soit 22,8 % du total mondial, dont 105 321 MW pour l'Amérique du Nord et 17 891 MW pour l'Amérique Latine ; au cours de l'année. Les États-Unis sont placés au 1e rang avec 89 077 MW du continent américain et la 2eme dans le monde en 74,5 GW. [4]

En 2017, l'Asie a conforté son rang en tête du classement des continents par puissance éolienne installée avec 228 542 MW avec 42,4 % du total mondial . La Chine à elle seule présente de production avec ses 188 232 MW 82,4 % du total installé en Asie fin 2017 et 79,8 % des installations de l'année. [4]

Le Conseil mondial de l'énergie éolienne GWEC (Global Wind Energy Council) a présenté les résultats du développement de l'énergie éolienne dans le monde au cours des quinze dernières années. [3]

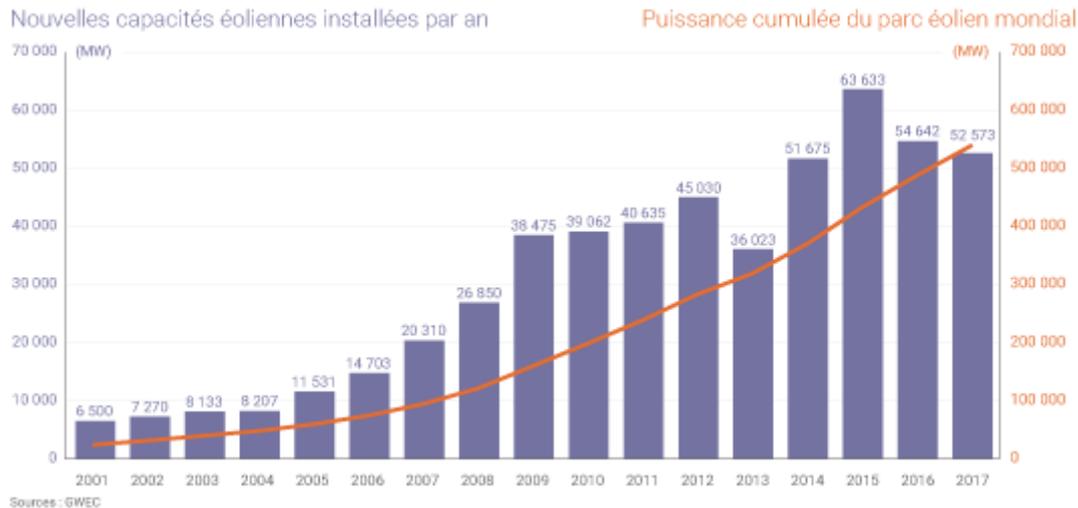


Fig.I.5 : Evolution de l'énergie éolienne dans le monde.

I.4. Énergie éolienne en l'Algérie :

L'Algérie présente un potentiel éolien considérable qui peut être exploité pour la production de l'énergie électrique, surtout dans le sud où les vitesses de vents sont élevées et peuvent dépasser 4m /s ,6m/s dans la région de Tindouf, et jusqu'à 7m /s dans la région d'Adrar.

, ces vitesses sont établies par le centre de développement des énergies renouvelable CDER laboratoire de l'énergie éolienne. [5]

En Algérie, la première tentative de raccorder les éoliennes 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). Conçu par l'ingénieur français ANDREAU, ce prototype (Fig. I.6) avait été installé initialement à St-Alban en Angleterre. Ce bipale de 30 m de haut et un diamètre de 25 m fut racheté par Électricité et Gaz d'Algérie puis démontée et installée en Algérie [6].



Fig.I.6 : éolienne de 100 KW de grand vent.

La plus grande éolienne de pompage a été installée en 1953 à Adrar par les services de la colonisation et de l'hydraulique .Montée sur un mat de 25 mètres de hauteur, cette machine à trois pales de 15 mètres de diamètre (fig. I.7) a fonctionné pendant près de 10 ans [6].



Fig.I.7 : éolienne d'Adrar 1953.

Par ailleurs, selon des archives du Ministère de l'hydraulique, deux autres éoliennes ont été installées à Mecheria, pour l'alimentation en eau potable de la ville et à Naama, pour le pompage de l'eau. Plus récemment, le Haut Commissariat au Développement de la Steppe a installé 77 éoliennes de pompage de l'eau sur les hauts plateaux. Pour les installations de grandes puissances, les vitesses du vent moyennes doivent être supérieures à 6, m/s, la hauteur de référence étant de 10 mètres. Cependant avoir de grandes vitesses ne suffit pas.

En effet la disponibilité de cette ressource éolienne doit être importante. En d'autres termes, le nombre d'heures pendant lesquelles la vitesse du vent est élevée doit être important sur l'année.

Selon le premier Atlas Vent de l'Algérie établi par l'ONM (Office National de la Météorologie, Alger, 1990), les vitesses les plus élevées sont de l'ordre de 6 m/s et sont localisées dans la région d'Adrar. Ces résultats, qui avaient été obtenus à partir d'un traitement statistique des données vent couvrant jusqu'à 10 années de mesures, sont la base des cartes éoliennes établies par les chercheurs du CDER (Centre de Développement des Energies Renouvelables) (fig .I.8).[6]

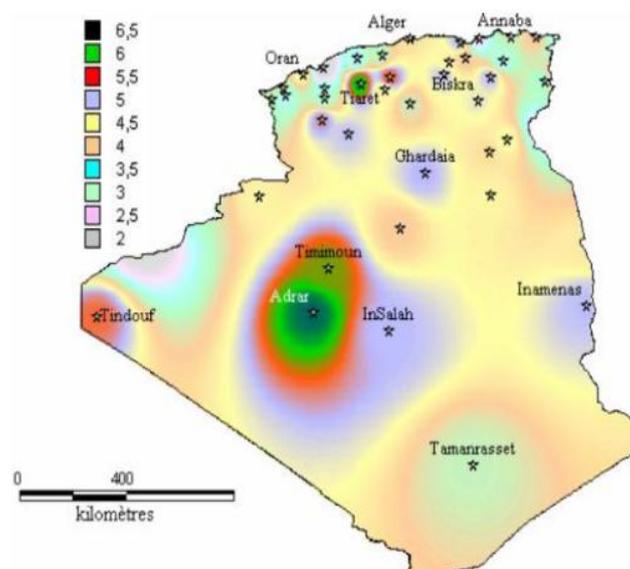


Fig.I.8 : vitesses du vent moyennes doivent être supérieures à 6 m/s Adrar.

Une première ferme éolienne de 10 MW (Fig. I.9) de puissance a été implantée à Adrar et mise en service en juin 2014. L'énergie électrique fournie par cette ferme est injectée au réseau local et le taux de pénétration de l'énergie éolienne représenterait 5% environ [6].



Fig.I.9 : la ferme éolienne d'Adrar.

Mais récemment, dans le nouvel Atlas éolien établi par l'ONM l'existence de sites ventés dans d'autres régions du Sud a été mise en évidence. Outre Adrar, les régions de Tamanrasset, Djanet et In Salah disposeraient d'un potentiel éolien exploitable.

A noter que lors de l'élaboration du premier Atlas, seules 36 stations météorologiques existaient alors que pour le dernier Atlas, le nombre de points de mesures est passé à 74. Cependant, étant donnée la superficie du territoire algérien, ce dernier chiffre reste faible. Des stations de mesures éoliennes complémentaires sont en cours d'installation. Le gisement éolien en Algérie est donc toujours en cours d'évaluation.

Donc la puissance éolienne totale installée en Algérie est donc actuellement insignifiante. Cependant, le ministère de l'énergie et des mines a projeté, dans son nouveau programme des Energies Renouvelables, d'installer d'autres parcs éoliens d'une puissance totale de 1000 MW à moyen terme (2015-2020) pour atteindre 5010 MW à l'horizon 2030. A noter que ce nouveau programme vise aussi bien les installations connectées au réseau électrique que le petit éolien, prévoit aussi de lancer l'industrialisation de certains éléments ou composants d'aérogénérateurs, tels que les pales. Les petites éoliennes destinées au pompage de l'eau ou à l'alimentation en électricité des localités isolées [6].

I.5. Etude théorique:

I.5.1. Définition :

I.1. L'énergie éolienne est générée par l'énergie cinétique du vent, qui se transforme en énergie mécanique à travers d'un arbre de rotation, puis en énergie électrique à travers le générateur électrique [7]. (Voir la figure I.10).

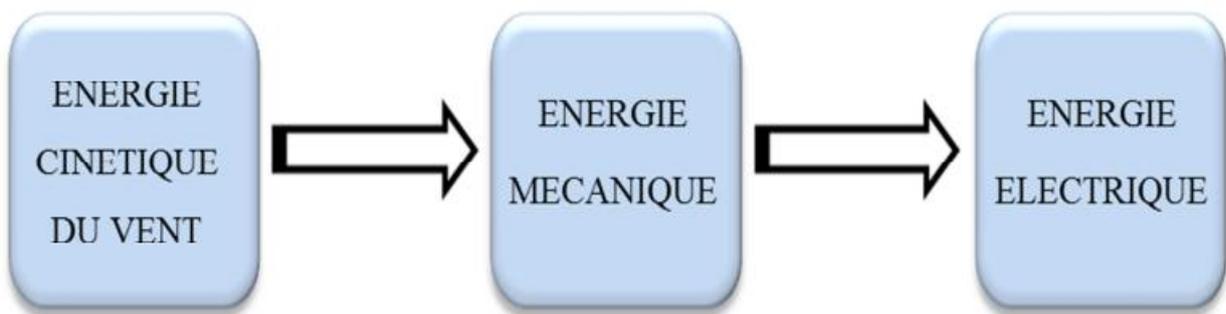


Fig.I.10 : Conversion de l'énergie cinétique du vent.

I.5.2. Principe de fonctionnement général des éoliennes :

Le principe de fonctionnement de l'énergie éolienne est relativement simple: le vent fait tourner des pales qui font-elles même tourner le générateur de l'éolienne. A son tour le générateur transforme l'énergie mécanique du vent en énergie électrique de type éolienne. L'électricité éolienne est dirigée vers le réseau électrique ou vers des batteries de stockage d'électricité éolienne [8].

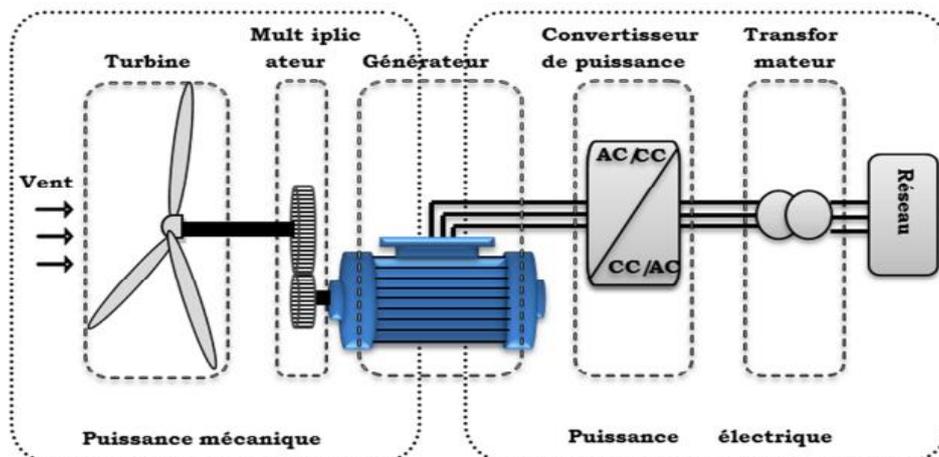


Fig. I.11 : Principaux organes du système de conversion éolien

I.5.3. Origine du vent :

Le soleil réchauffe inégalement l'air à la surface de la terre. Il chauffe l'air et l'eau, et la chaleur produite est ensuite diffusée dans l'air. Cela entraîne l'apparition de zones de haute pression (air chaud) et de basse pression (air froid). En effet, l'air chaud s'élève, ce qui génère des zones de basse pression au niveau du sol et au-dessus, une zone de haute pression. Dans l'atmosphère, l'air se déplace des zones de haute pression vers les zones de basse pression.

Le vent est cet air en mouvement [1].

L'origine du vent est complexe. Mais on peut le résumer dans 2 phénomènes prédominants :

- La Terre est chauffée par le Soleil. De part la nature même du mouvement terrestre, les pôles reçoivent moins de chaleur que l'équateur.
- Les terres émergées se réchauffent (et refroidissent) plus vite que ne le font les mers et les océans [9].

I.5.4. Vitesse et direction du vent :

La terre tourne autour de son axe, à la présence des océans et des continents et des reliefs respectifs, d'où la grande variété des vents dominants qui caractérisent les diverses régions et climats du globe terrestre, selon les latitudes et longitudes [19].

Ajoutons à ce qui est dit au point précédent que le vent est le paramètre représentatif des mouvements de l'air. La direction et la vitesse du vent sont des grandeurs mesurables dont la connaissance est nécessaire à l'étude cinématique et dynamique des masses d'air. La direction du vent indique d'où souffle le vent et se détermine à l'aide d'une girouette ou d'une manche à air. Un « vent Sud-Ouest » signifie que l'air est en mouvement du Sud-Ouest vers le Nord-Est.

La vitesse quant à elle, est mesurée à l'aide d'un anémomètre. La vitesse du vent s'exprime en mètre par seconde (m/s), en kilomètre par heure (Km/h) ou en nœud (Kt). Equivalence : $1 \text{ m/s} = 3.6 \text{ km/h}$ et $1 \text{ m/s} \approx 2 \text{ nœuds}$.

Les mesures de la vitesse du vent se font dans le quasi-totalité des cas dans les stations météorologiques en fixant l'anémomètre au sommet d'un pylône. Afin d'éviter les turbulences causées par divers obstacles (arbre, bâtiment, ...) on préfère fixer l'anémomètre à 10 mètres au-dessus du sol.

Une fois le capteur (anémomètre) fixé, on mesure la vitesse instantanée (moyenne sur une durée de 0.5 sec.). La vitesse instantanée fluctue au gré des tourbillons générés par la turbulence de l'air et c'est pourquoi on note la vitesse maximale instantanée observée au cours de 10 minutes qui précèdent l'heure d'observation, de même que les maxima observés pendant l'heure ou la journée [19].

Les vents sont divisés en 17 catégories en fonction de leur vitesse et des effets qu'ils génèrent sur l'Etat de la mer [19], suivant une échelle appelée « ECHELLE DE BEAUFORT ». Sur des cartes météorologiques la direction et la vitesse du vent sont représentées par des symboles appropriés. Le tableau ci-dessous donne les 17 catégories du vent en échelle de Beaufort.

I.5.5. Variations de la vitesse du vent :

I.5.5.1. Variation cyclique :

La vitesse et la direction du vent varient au cours de l'année, une variation due par le fait que la position des aires cycloniques et anticycloniques est liée à la position du soleil par rapport à l'équateur [19].

I.5.5.2. Variation journalière

Les vents subissent des fluctuations journalières qui sont dues à des effets convectifs qui s'expliquent par l'échauffement du sol qui est plus rapide que celui des mers.

Hormis les variations journalières, nous retiendrons que dans les laps de temps la direction du vent peut varier de 20° et la vitesse de 3 m/s et même davantage [19].

I.6. Choix d'emplacement d'une éolienne :

Il faut tenir compte de :

La quantité de vent exploitable durant l'année.

La qualité du vent : régularité d'écoulement, l'absence de turbulence.

La vitesse du vent : si la vitesse du vent double, la puissance disponible est multipliée par 8.

L'altitude : c'est un atout ; le vent est plus fort en altitude.

Des obstacles : l'éolienne doit être installée à l'écart des obstacles dans une position ouverte aux vents dominants pour éviter des perturbations dues à des turbulences.

L'implantation d'une éolienne dépendra aussi de la végétation, du relief, de la proximité du réseau électrique et tiendra compte des éventuels impacts (visuels et sonores) et des servitudes du site (Monuments historiques, sites classés, armée, aéronautique, émissions hertziennes)[8].

I.7. Différents types d'éoliennes :

Les éoliennes peuvent se classer en deux catégories selon l'axe de rotation du rotor : à axe horizontal ou à axe vertical.

I.7.1. Éolienne à axe horizontal :

Cette éolienne a besoin de s'orienter par rapport au vent pour fonctionner. L'hélice de ce type d'éolienne est perpendiculaire au vent sur un mât qui varie de 10 à 100 m en général. Elle possède entre 1 et 4 pales [11].



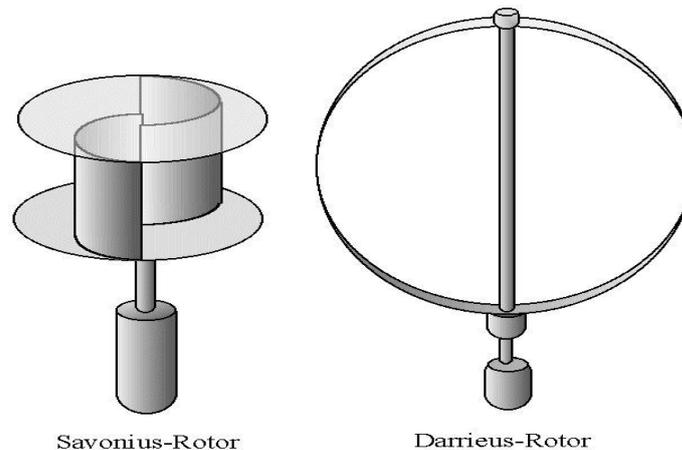
Fig.I.12 : Éolienne à axe horizontale.

I.7.2. Éolienne à axe vertical :

La particularité de ce type d'éolienne est qu'elles n'ont pas besoin de s'orienter par rapport au vent. Cependant, leur rendement est plus faible que celui des éoliennes à axe vertical [11].

I.8. Différents types des éoliennes à axe vertical :

Il existe deux types différents de l'éolienne a axe verticale sont : DARRIEUS et SAVONIUS.



Savonius-Rotor

Darrieus-Rotor

Fig.I.13 : les types de l'éolienne à axe verticale.

I.8.1. Type de SAVONIUS :

Du nom de leur inventeur, SIGURD SAVONIUS qui a breveté ce système en 1929, l'éolienne verticale SAVONIUS consiste en au moins deux demi-cylindres installés de manière légèrement désaxée l'un par rapport à l'autre. Le vent s'engouffre dans l'un des demi-cylindres et le pousse. Les demi-cylindres n'étant pas rattachés en un même point, mais légèrement désaxés, le vent continue sa course dans l'autre demi-cylindre, qu'il pousse à son tour [12].



Fig. I.14 : l'éolienne SAVONIUS.

I.8.2. Type DARRIEUS :

Du nom de son inventeur, l'éolienne verticale de type DARRIEUS (Fig. I.15) produit de l'électricité grâce à un rotor, qui tourne autour d'une tige fixe, appelée stator à ailettes [12].



Fig. I.15 : l'éolienne DARRIEUS.

I.9. Avantages et inconvénients :

I.9.1. Axe horizontale / vertical :

Axe horizontale		Axe verticale	
Avantages	Inconvénients	Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> - Son rendement est élevé - Elle est équipée d'un système qui permet de les orienter en fonction du vent - Les frais de fonctionnement sont faibles - Elle est moins exposée aux contraintes mécaniques que celle de l'éolienne à axe vertical - Son coût est moins important que l'éolienne à axe vertical - Elle est mieux adapté au secteur rural - Elle est plus solide 	<ul style="list-style-type: none"> - Elle est moins simple que l'éolienne à axe verticale - Les pales du rotor doivent être non flexibles - Elle fait beaucoup de bruit - Il y a moins de sécurité pour les oiseaux car elle tourne à haute vitesse 	<ul style="list-style-type: none"> - Sa conception est plus simple que l'éolienne à axe horizontal - Elle est plus facile d'accès - Elle ne nécessite pas de système d'orientation par rapport à la direction du vent, ce qui constitue un avantage de construction non négligeable - Lors du fonctionnement, elle n'est pas soumise aux contraintes importantes sur les pales, les roulements et les axes dues aux changements d'orientations 	<ul style="list-style-type: none"> - Son rendement est médiocre, ce qui n'a pas facilité son développement - Le rotor se situe en général très près du sol, les vents sont donc très faibles dans la partie inférieure du rotor - Elle ne démarre pas automatiquement, il faut utiliser la génératrice comme moteur pour permettre le démarrage de l'éolienne - un démontage complet de l'éolienne est nécessaire pour procéder au remplacement du palier principal du rotor - Il n'y a aucun système d'orientation au vent

Le tableau I.1: Avantages et inconvénients horizontal / vertical.

I.9.2. SAVONIUS / DARRIEUS :

Les avantages et les inconvénients de SAVONIUS :		Les avantages et les inconvénients de DARRIEUS	
Avantages	inconvénients	Avantages	Inconvénients
Peu encombrante ; Peu bruyante ; Démarre à faible vitesse de vent ; Pas de contrainte sur la direction du vent et possède un couple élevé au démarrage.	Sont que sa masse est non négligeable ; qu'elle a un rendement faible.	Peut être installé dans des zones très venteuse ; Presque inaudible ; Sont générateur est installé en bas de celle-ci ; Plus accessible ; Peut être vérifié et entretenu plus facilement.	Démarrage difficile du au poids du rotor sur le stator ; Besoins de vents plus importants.

Le tableau.I.2 : Avantages et inconvénients SAVONIUS / DARRIEUS.

I.10. Conclusion :

On a présenté dans ce chapitre un état de l'art sur les systèmes de conversion éolien qu'on a essayé de les présenter d'une façon générale les différentes structures existantes : les éoliennes à axe vertical et les éoliennes à axe horizontal, et leurs avantages et inconvénients les uns par rapport aux autres. Parmi les types des 'éoliennes à axe verticale on a choisi le type d'éolienne DARRIEUS de forme H pour notre étude.

II.1. Introduction :

Ce chapitre donne une description générale de l'éolienne à axe vertical de type DARRIEUS H, et aussi nous présenterons le principe de fonctionnement et les caractéristique aérodynamiques de cette éolienne.

II.2. Définition :

L'éolienne DARRIEUS est Breveté en 1931 par l'ingénieur aéronautique français DARRIEUS, ce type d'éolienne à axe vertical utilisé pour produire de l'électricité à partir de l'énergie du vent, qui est devenu populaire dans les années 70. La turbine se compose d'un certain nombre de pales montées sur un arbre vertical rotatif ou un cadre [13].

II.2.1. Différents types:

Les éoliennes verticales ont généralement de deux à trois pales, qui peuvent être de rotor tronconique, à variation cyclique ou parabolique (figure.II.1). [13]

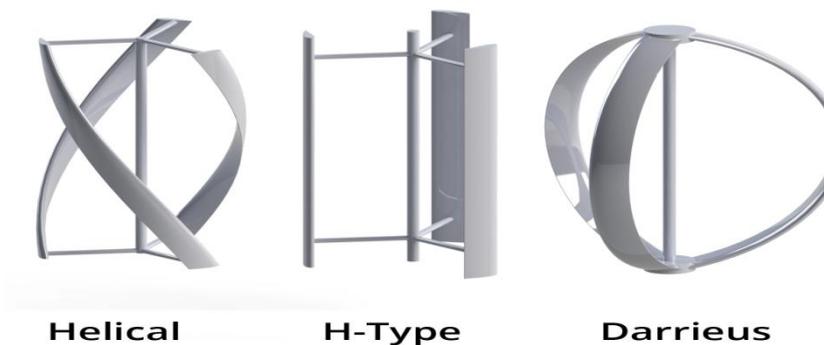


Fig.II.1 : les différents types de l'éolienne **DARRIEUS**.

II.2.2. Description:

L'éolienne DARRIEUS en forme H, qui est construite avec des pales d' haute performance de profil symétrique, généralement le nombre des pales (deux, trois pales ou multi-pales)

Les composants principaux de l'éolienne de type DARRIEUS H (figure. II.2) sont :

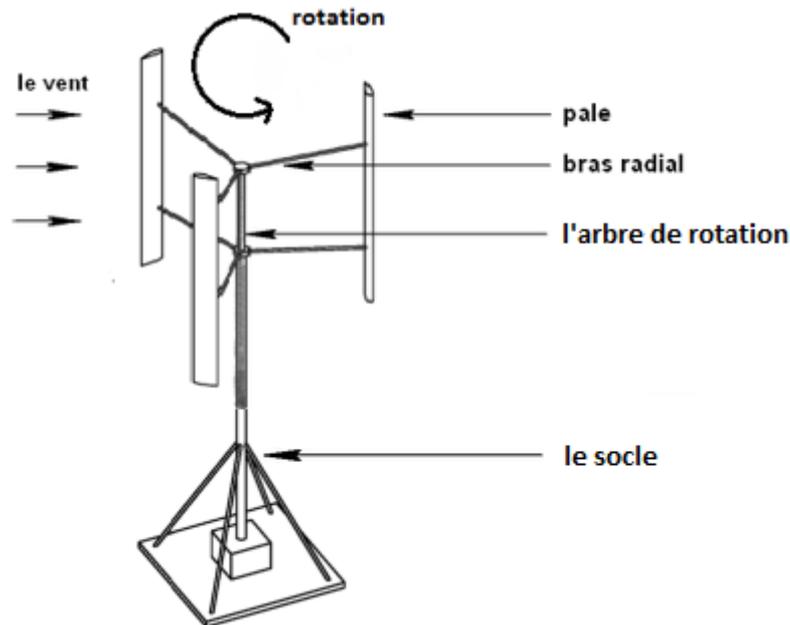


Fig.II.2 : les composants principaux de l'éolienne DARRIEUS.

1-L'arbre de rotation :

L'arbre de rotation est considéré comme un support des pales.il est tourné à l'aide du mouvement rotatif de ces pales.

2-les pales :

La pale est définie par son profil, sa corde, et sa longueur, ainsi que par sa forme générale. Les pales reçoit l'énergie du vent et tourner l'arbre de rotation.

3-Le socle :

L'installation et la fixation de l'éolienne est effectuée au sol par un support appelé le socle, qui endure le poids de l'éolienne.

4-Le bras radial :

Le bras radial est le rayon de rotor de rotation, qui est relié et fixe les pales avec l'arbre de rotation [14].

II.3.Limite de BETZ :

La théorie de BETZ indique la limite de puissance récupérable du vent. Elle introduit un Coefficient de puissance C_p dans le calcul de la puissance. Ce coefficient représente l'efficacité de l'éolienne à transformer l'énergie cinétique du vent en énergie électrique.

Pour classer les éoliennes par rapport à cette limite de BETZ, on utilise couramment le coefficient de puissance défini par :

$$C_p = \frac{P_{\text{éolienne}}}{\frac{1}{2} \rho \cdot S \cdot v_{\infty}^3} \quad \text{II.1}$$

Où :

La puissance capturée par la turbine :

$$P_{\text{éolienne}} = \frac{1}{2} C_p \cdot \rho \cdot S \cdot v_0^2 \quad \text{II.2}$$

La puissance cinétique totale traversant la turbine :

$$P_{\text{vent}} = \frac{1}{2} \rho \cdot S \cdot v_{\infty}^3 \quad \text{II.3}$$

.

La surface balayée par le vent : S.

Le coefficient C_p est une grandeur variable en fonction de λ , la valeur maximale théorique possible du coefficient de puissance, appelée limite de BETZ, est de $\frac{16}{27}$.

Où

λ : La vitesse spécifique est une variable adimensionnelle qui caractérise la vitesse relative du vent sur les pales. Elle est le rapport entre la vitesse tangentielle, produit de la vitesse angulaire Ω et du rayon R, de la vitesse du vent V :

$$\lambda = \frac{\Omega R}{V} \quad \text{II.4}$$

La figure suivante représente les performances des différents types d'éolienne, c'est le graphe de la limite de BETZ qui est le coefficient de puissance en fonction de la vitesse spécifique [13].

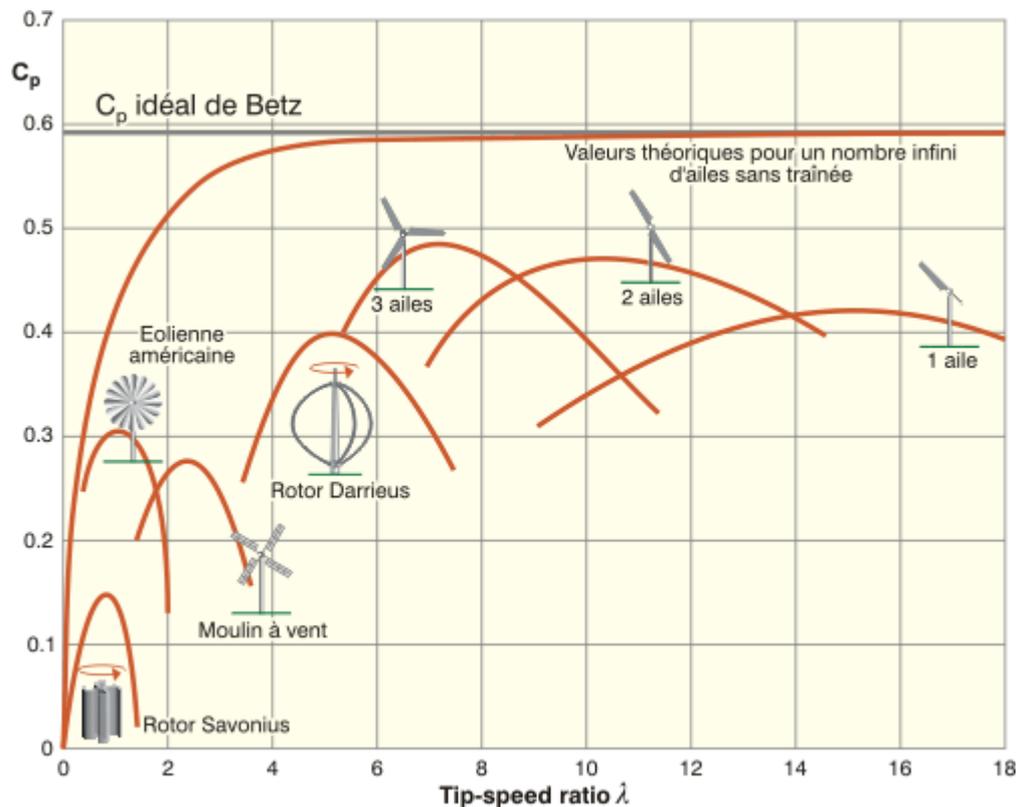


Fig II.3: Représentation des performances des différents types d'éolienne.

Dans ce graphe les aérogénérateurs à axe vertical de type DARRIEUS et à axe horizontal ont un meilleur rendement aérodynamique.

Les aérogénérateurs « américains » ont un nombre de pales important car ils évoluent à de faibles vitesses de rotation. Ils produisent un couple aérodynamique important afin de produire de l'énergie mécanique (application de pompage). [13]

II.4. Principe de fonctionnement:

Le fonctionnement est basé sur le fait qu'un profil placé dans un écoulement d'air selon différents angles est soumis à des forces d'intensités et de directions variables (traînée et portance). Ceci explique qu'une étude doit être réalisée sur le profil utilisé afin d'obtenir le rendement maximum. La combinaison de ces forces sur les divers profils du rotor génère alors un couple moteur (figure .II.5). En fait, les différents angles auxquels sont soumis les profils, proviennent de la combinaison de la vitesse propre de déplacement du profil (en rotation autour de l'axe vertical) et de la vitesse du vent incident.

On se rend alors compte que certains profils génèreront une traînée plus importante que la portance et se sera l'inverse pour d'autres. La traînée empêchera la rotation alors que la portance la favorisera. De plus, la combinaison entre le vent incident et la rotation donne un vent relatif sur les profils supérieur au vent incident. Au final, la force de portance globale est supérieure à la force de traînée entraînant ainsi le rotor [13].

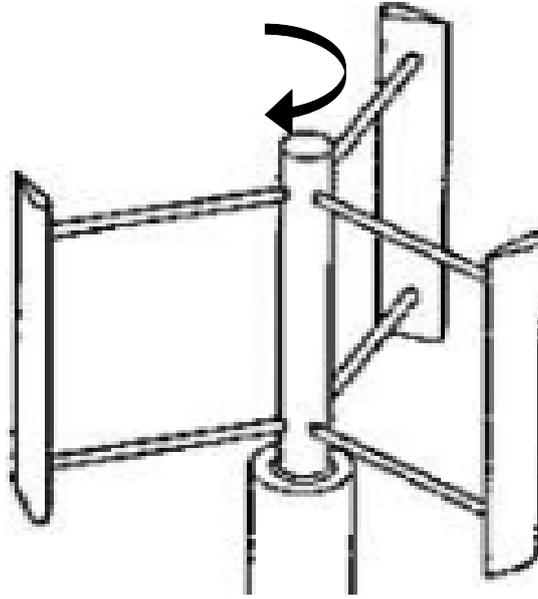


Fig.II.4 : fonctionnement de l'éolienne DARRIEUS.

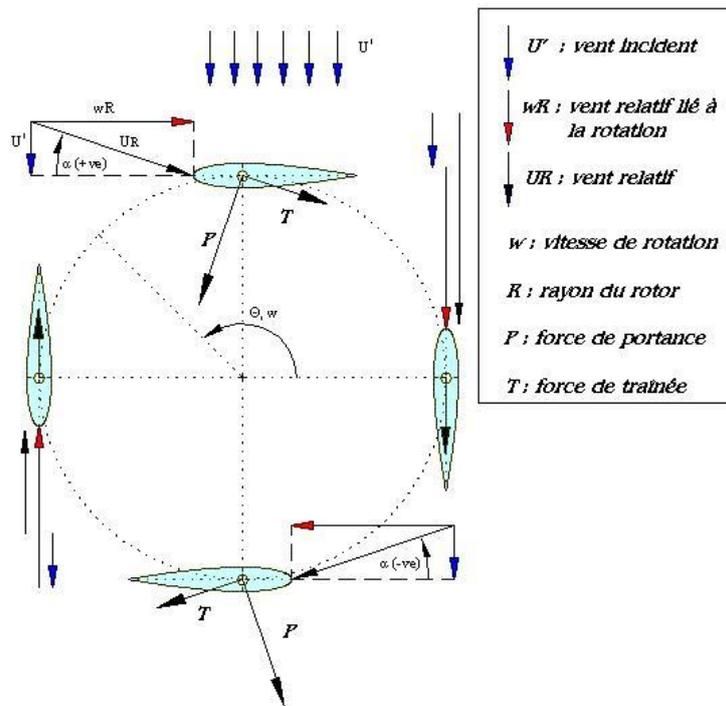


Fig.II.5 : forces aérodynamiques exercées sur une pale en fonction de sa position angulaire.

II.5. Descriptions aérodynamique:

II.5.1. Géométrie d'une pale d'éolienne :

L'élément le plus important dans une machine éolienne rapide ou lente est la pale, l'étude de la pale amène à l'étude des profils qui correspond à une section transversale de la pale.

Différents types de profils aérodynamiques sont catalogués dans le monde. On notera, par exemple, les profils JOUKOVSKI, EPPLER, WORTMANN, NACA, RAY, GÖTTINGEN, NLR, NASA/LRC, et SANDIA, parmi ces derniers, les profils de types NACA sont les plus utilisés.

Dans les années 1930 la N.A.C.A (National ADVISORY COMMITTEE for AERONAUTICS) étudié de nombreux profils dont les caractéristiques ont été rendues publiques. Depuis d'autres sont venus s'ajouter pour fournir une bibliothèque très complète de profils bien connus [13][15].

Tout d'abord on commence par donner quelque définition concernant un profile sur le schéma suivant (Fig. II.6) :

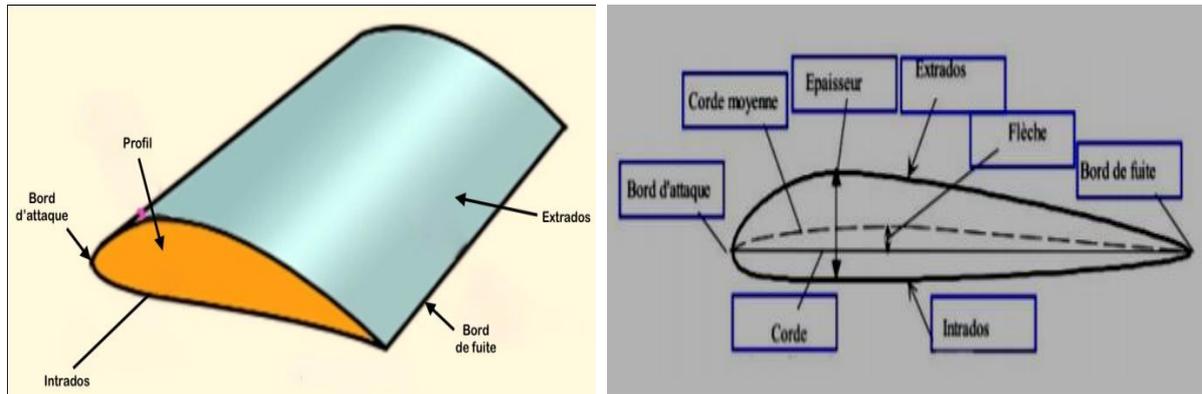


Fig. II.6 : représentation d'une description d'un profil.

L'air aborde le profil par le bord d'attaque et le quitte par le bord de fuite. La partie supérieure du profil est appelée extrados et la partie inférieure intrados. Le segment qui joint le bord d'attaque et le bord de fuite est appelé corde du profil [13].

II.5.2. Différents types des profils :

Les différents types de profils sont classés par familles, suivants la forme générale :

II.5.2.1. Le profil plan convexe :

Le profil plan convexe porte bien même à faible incidence mais il est légèrement instable. Il est utilisé en aviation générale [15].

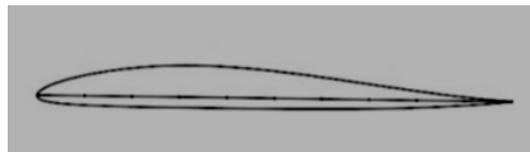


Fig. II.7 : représente le profil plan convexe.

II.5.2.2.: Le profil biconvexe dissymétrique :

Le profil biconvexe dissymétrique porte également bien même à incidence nulle et est très stable. Très utilisé dans l'aviation de loisir [15].

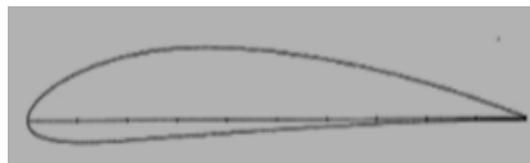


Fig. II.8 : le profil biconvexe dissymétrique.

II.5.2.3. Le profil cambré (ou creux) :

Le profil cambré (ou creux) est très porteur mais il est assez instable. Lorsque l'incidence augmente, il cherche à cabrer [15].



Fig. II.9 : le profil cambré.

II.5.2.3. Le profil biconvexe symétrique :

Le biconvexe symétrique ne porte pas aux faibles très faibles incidences. Il n'est intéressant que pour les gouvernes et la voltige [15].



Fig. II.10 : le profil biconvexe symétrique.

II.5.2.4. Le profil à double courbure : Le profil à double courbure (ou auto stable) présente l'avantage d'une grande stabilité mais une portance [15].

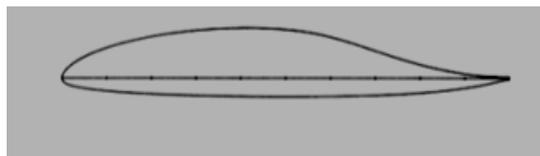


Fig. II.11 : le profil à double courbure.

II.6. Forces exercée sur le profil :

La vitesse relative caractérisée par une certaine intensité et une direction décrite par l'angle d'attaque, induit une force sur le profil. Cette force se décompose en une composante tangentielle, qui contribue positivement à la rotation de l'éolienne, c'est l'effet utile recherché (du moins pour toutes éoliennes basées sur la portance), et une composante axiale perpendiculaire au plan de rotation qui n'a aucun effet utile. Au contraire, cette force axiale soumet l'éolienne par sa poussée à une contrainte mécanique importante. C'est l'élément dominant lors du dimensionnement du mât d'une éolienne. Si on décompose la force aérodynamique selon sa composante de portance et de trainée, on en déduit les propriétés suivantes [13] :

II.6.1. La force de portance L :

Contribue positivement à la rotation de l'éolienne. En d'autres termes, elle induit une force dans le sens de rotation. C'est pourquoi on dit que ces éoliennes sont basées sur la portance.

Quand un profil est légèrement incliné par rapport à la direction du vent (faible angle d'attaque), l'écoulement reste attaché au profil, il est accéléré sur la partie inclinée face au vent, soit l'intrados, et il est ralenti sur la partie faisant dos au vent, soit l'extrados. Il se crée alors une dépression sur l'extrados et une surpression sur l'intrados. Cette différence de pression génère une force perpendiculaire à la direction du vent, dirigée de l'intrados vers l'extrados, c'est la portance [18].

• Coefficient de portance :

$$C_l = L/SQ$$

II.5

II.6.2. La force de trainée D :

Contribue négativement à la rotation de l'éolienne. En d'autres termes, elle induit une force dans le mauvais sens, c'est un effet parasite. Elle diminue le rendement de conversion de l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique sur le rotor. C'est pourquoi, tout comme un planeur, les pâles d'une éolienne sont conçues pour minimiser la trainée et obtenir ainsi les meilleurs rendements [18].

Lorsque la surface exposée à la direction de l'écoulement de l'air augmente, une force de résistance à l'air apparait. Cette force de résistance appelée trainée et notée D [18].

$$C_d = D/SQ$$

II.6

Avec: $Q = 1/2 \rho V_{\infty}^2$: pression dynamique

V_{∞} : vitesse du vent non perturbé.

C_l et C_D sont des coefficients adimensionnels, qui sont propre à la forme d'un profil aérodynamique mais indépendants de son échelle. Pour une géométrie de profil donnée et pour un nombre de Reynolds donné, ces coefficients varient donc en fonction de l'angle d'attaque α [18].

Une caractéristique essentielle d'un profil est ainsi sa finesse, c'est-à-dire le rapport entre la portance et la traînée qu'il génère. La finesse d'un profil dépend principalement de trois facteurs :

- Sa géométrie.
- L'angle d'attaque auquel il est utilisé.
- Le régime d'écoulement.

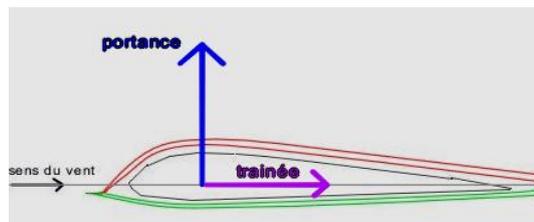


Fig. II.12 : portance et traînée sur un profil.

II.7. Couche limite :

L'air est constitué de gaz différents qui forment une certaine viscosité. Même si elle est faible, cette viscosité joue un rôle dans les vitesses de vol critique. Les particules d'air touchant la surface du profil y adhèrent, leur vitesse d'écoulement devient donc nulle. En s'éloignant de la surface, la vitesse qui s'accroît perpendiculairement et verticalement à la direction de l'écoulement remonte très rapidement jusqu'à atteindre la vitesse initiale dans le flux du fluide non perturbé. De plus en plus de particules sont arrêtés en surface par le frottement, créant une zone de forte chute de vitesse nommée «couche limite» [13].

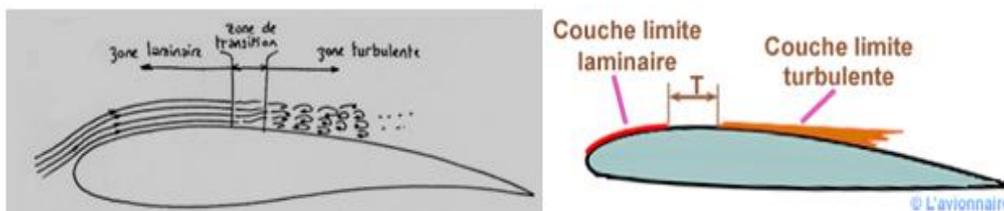


Fig. II.13 : décollement de la couche laminaire et transition de la couche limite.

II.8. Nombre de Reynolds Re :

Le nombre de Reynolds est un coefficient adimensionnel qui caractérise l'importance des forces de viscosité dans un fluide en écoulement. Sert à identifier les courbes qui permettront de déterminer les coefficients de portance et de trainée ainsi que les angles d'attaque et de décrochage. Sert à caractériser le régime d'écoulement perçu par les pales. Son expression est la suivante [13] :

$$Re = WL / \nu \quad \text{II.7}$$

Avec :

W : vitesse relative du vent sur la pale.

L : longueur caractéristique, dans notre cas la corde de la pale.

ν : viscosité cinématique de l'air.

$$\nu \approx 15 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} .$$

- $Re < 2000$: écoulement laminaire.

- $Re > 4000$: écoulement turbulent.

- Pour $2000 < Re < 4000$, on observe un régime de transition.

II.9. Puissance :

La puissance cinétique totale disponible sur la turbine d'une éolienne est donnée par : [14]

$$P_{\text{vent}} = 1/2 \rho \cdot S \cdot V_{\infty}^2. \quad \text{II.8}$$

La puissance mécanique de la turbine éolienne est alors:

$$P_{\text{éolienne}} = 1/2 C_p \rho \cdot S V_0^3. \quad \text{II.9}$$

Avec : C_p le coefficient de puissance.

$$C_p = P_{\text{éolienne}} / P_{\text{vent}}. \quad \text{II.10}$$

II.10. Couple moteur:

Le couple sur une pale est obtenu après intégration de la force de traînée multipliée par la distance à l'axe sur l'ensemble de l'éolienne. Il existe une relation entre le couple et la puissance :

$$P = C \cdot \omega \quad \text{II.11}$$

Avec ω : vitesse de rotation de l'éolienne (rad/s). On définit également le coefficient de couple :

$$C_c = C_p / \lambda \quad \text{II.12}$$

En introduisant la solidité δ d'une éolienne par :

$$\delta = NC / D \quad \text{II.13}$$

Avec :

δ : Solidité

N: Nombre de pales

C: Corde de pale

D: Diamètre du rotor

II.11. Conclusion :

L'étude théorique dans ce chapitre montre-nous la relation entre la puissance de l'éolienne et la puissance du vent, c'est le rapport qui nous détermine le C_p de notre éolienne dont il varie en fonction de la vitesse spécifique λ .

III.1. Introduction :

L'électricité n'est ni plus ni moins que des électrons qui se déplacent. On peut la mesurer en ampères, en volt ou en watts. Pour bien assimiler du courant électrique, qui se mesure en ampères, correspond au débit de l'eau, et la tension, qui se mesure en volts, correspond à la hauteur de la chute. Les watts, quant à eux, correspondent à la force globale induite par ces deux paramètres. On les obtient en multipliant l'intensité et la tension entre elles. C'est eux qui nous indiquent la puissance que produit le générateur qui est situé au cœur de l'éolienne, il est la pièce maîtresse de notre installation.

III.2.1. Générateur :

Pour fabriquer de l'électricité, il nous faut donc un générateur, il est une source d'énergie électrique capable de mettre en mouvement des charges électriques dans un circuit; selon la conception et / ou l'utilisation, donc il est capable de créer un courant permanent dans un conducteur [16].

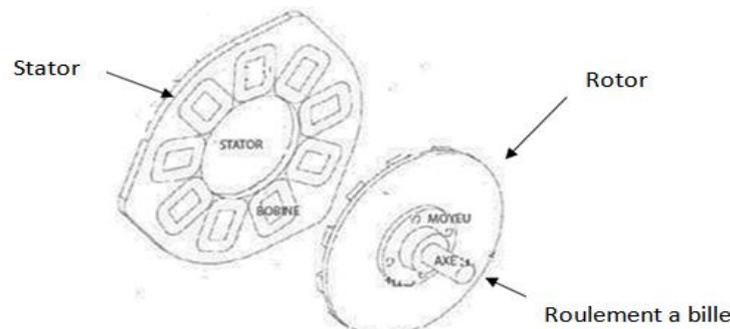


Fig. III.1 : génératrice à aimant permanent.

Il en existe deux types : l'alternateur et dynamo, le premier produit du courant alternatif et la seconde du courant continu. Le courant alternatif s'inverse en un temps donné qui se mesure en hertz (Hz). Pour avoir une idée plus précise, le courant domestique est 220v 50Hz, soit 50 inversions par seconde de la polarité, ce qui nous donne au total 100 inversions par seconde de la polarité, pour ce qui est du courant continu, le + et le - restent toujours dans le même sens [16].

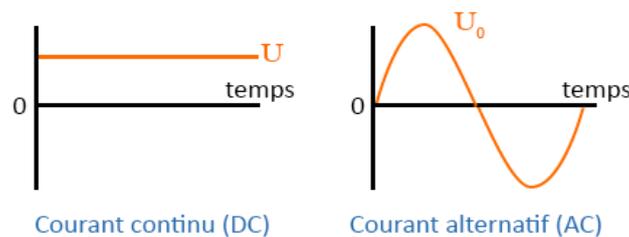


Fig.III.2 : les graphes de courant continu et courant alternatif.

III.2.2.Principe de fonctionnement :

Pour produire de l'électricité avec un alternateur, il nous faut du fil de cuivre émaillé, un champ magnétique et du mouvement. Son rôle est de mettre en mouvement les électrons contenus dans les atomes de cuivre. C'est lui qui donne plus ou moins de vitesse et de force aux électrons présents dans le conducteur.

Quand il s'arrête, ou si le circuit est ouvert, les électrons stoppent immédiatement leur course. Pour créer un circuit avec les électrons, on utilise le magnétisme. Schématiquement, le champ magnétique sera fort et sa vitesse importante, Plus la production d'électricité sera importante. En passant devant les bobines de cuivre, les aimants vont faire circuler tantôt les électrons dans un sens, tantôt dans un autre. Pour ce faire, une logique implacable nous impose de le faire par un mouvement circulaire. Un alternateur et une dynamo fonctionnent toujours sur la même base, à savoir qu'ils sont tous deux constitués d'un rotor et d'un stator.

Le rotor est la partie en mouvement et le stator est la partie fixe. Maintenant, nous disposons d'assez d'éléments pour aller plus loin. En ce qui concerne les aérogénérateurs, il existe deux types d'alternateur qui conviennent tout à fait [16] :

- Le générateur à aimants permanents ;
- Le moteur synchrone ou asynchrone converti en générateur ;

Dans cette étude, on s'intéressera au générateur à aimants permanents exclusivement.

D'un autre côté, bien que nos appareils électriques fonctionnent avec du courant alternatif, ceux-ci requièrent une fréquence et une tension stables au risque d'être dégradés instantanément. Et le courant directement produit par notre éolienne ne possède pas ces caractéristiques, on dit qu'il s'agit d'un courant « sale » car sa fréquence et sa tension sont très variables au court du temps et en plus n'est produit que de façon intermittente car dépendante du vent [16].

C'est pourquoi il faut passer par une série d'étapes permettant de rendre ce courant propre et utilisable par nos appareils.

Ces étapes sont les suivantes :

1) Redressement :

La première étape consiste à redresser le courant. Pour cela on utilise un pont de diodes (Fig.III.3) qui va permettre de passer du courant alternatif au courant continu. Mais attention, ce courant bien qu'appelé continu, ne possède pas une tension stable [17].

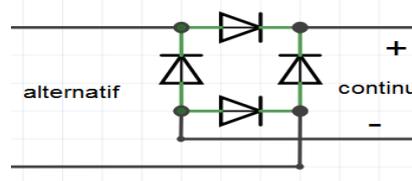


Fig.III.3 : pont de diode.

2) Régulation :

Le régulateur ou contrôleur de charge a deux fonctions (Fig. III. 2). D'une part il va lisser le signal du courant, c'est à dire qu'il va permettre d'obtenir un courant continu de tension plus stable, les pics de tensions venant compenser les creux. Et d'autre part il va dissiper le courant superflu pour fournir un courant de sortie ne dépassant pas une tension voulue.

A partir de ce moment, nous obtenons un courant continu propre cependant, en cas de ralentissement ou d'arrêt de l'éolienne, la tension chutera et nous n'aurons plus de courant [17].



Fig. III. 3: le régulateur de charge.

3) Stockage :

Cette étape permet de pallier au problème cité juste au dessus. Quand l'éolienne produit du courant, le surplus est stocké dans des batteries d'accumulateurs (Fig. III. 4) et sera restitué lorsque l'éolienne ne produira pas suffisamment pour alimenter l'installation [17].



Fig. III. 5: batterie de stockage.

4) convertisseur :

Le convertisseur (Fig. III. 6) contient des composants électroniques qui permettent de convertir la tension continue en tension alternative pour la transformer de 12 v en 220v (pour distribuer vert le réseau) par un transformateur élévateur qui est constitué dans ce convertisseur.



Fig. III. 7: convertisseur 12v-220v.

III.3.Conclusion :

Dans ce chapitre nous déduisons que le courant produit par le générateur ne peut pas être utilisé directement pour plusieurs raisons, y compris le stockage dans les batteries, c'est pourquoi le courant doit passer par plusieurs étapes dans une installation électrique.

IV. 1.Introduction :

Notre projet c'est la réalisation d'une éolienne de type DARRIEUS et pour facilité la construction on a choisi les pales droites de profil symétrique NACA 0018.

Dans ce chapitre nous allons présenter le plan de conception et toute les étapes de construction, puis nous allons fait un test pour calculer la vitesse de notre éolienne.

IV.2 .1. Matériaux utilisés :

-Le bois :

Il y'a plusieurs matériaux pour fabriquer les pales mais nous avons choisis le bois blanc par ce qu'il est simple, léger, facile à travailler et il résiste bien à la fatigue, mais il peut se déforme, car il est sensible à l'érosion.

-L'acier :

On a utilisé une plaque et un tube en acier pour la construction des bras radiaux et l'arbre de rotation, cela à cause des propriétés mécanique de l'acier : (solide, rigide, soudable), aussi pour supporter le poids de nos pales et assuré un bon équilibrage pour la turbine.

-Nous utilisons 6équerres embouties.



Fig. IV.1 : équerres embouties.

IV.2.2.Outils et matériels :

Pour la réalisation en utilise :

- 1) Papier vert.
- 2) La scie circulaire.



Fig. IV.2 : une scie circulaire.

- 3) Une raboteuse.



Fig. IV.3 : Une raboteuse.

- 4) L'ébarbeuse.



Fig. IV.4 : l'ébarbeuse.

- 5) Machine de menuiserie (7 options).



Fig. IV.5 : machine de la menuiserie.

- 6) Un poste de soudure avec des baguettes.



Fig. IV.6 : Un poste de soudure.

- 7) Deux bidons de peinture blanche, le pinceau peinture, le rouleau et l'essence.

- 8) Des tournevis, des pinces, des vis, des boulons, les clés, PROTRACTOR.

IV.2.3. Outils de métrage :



Fig. IV.7 : un double mètre ruban.

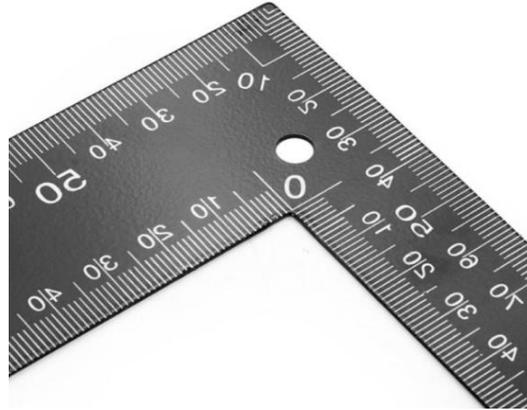


Fig. IV.8 : la règle de mesure.



Fig. IV.9 : La règle de niveau.

IV .3.Différentes étapes de conception :

IV.3.1.Conception des pales :

La conception des trois pales a été faite avec le bois dans un atelier de menuiserie ou le profil est de NACA 0018 .Les dimensions que nous avons choisies trouvé dans le tableau ci-dessous:

Les données d'entrer	Les symboles	Les valeurs
La corde de profil	C	0,2 m
La longueur des pales	L	1 m
Le diamètre de rotor	D_r	1 m
Le diamètre de l'arbre de rotation	D_a	0,34 m
L'épaisseur maximale de la pale	E_{max}	0,36 m
La hauteur de la machine	H	2.50 m
La vitesse de démarrage	V_d	4-5 m/s

Tableau .IV.1 : les caractéristiques de l'éolienne.

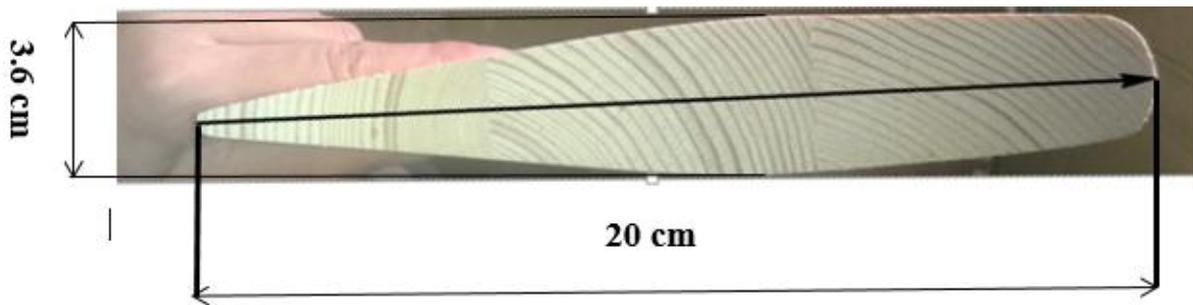


Fig. IV.10 : les dimensions de notre profil NACA 0018.

Pour la conception des pales, il faut suivre ces étapes :

- 1) Découper une planche de 1 m de longueur et de 0.2 m de largeur ;
- 2) Dessiner notre profil sur la face de la planche ;
- 3) Commencer de sculpter la pale jusqu'à l'obtention du profil dont nous avons voulu ;
- 4) Raboter tous les surfaces de profil Pour obtenir une surface plane sans déformation ;
- 5) Polir la surface de la pale par le papier verre (Fig. IV.11) pour pouvez de la peindre.



Fig. IV.11 : polissage des pales.

Maintenant la pale est prête, donc nous peignons nos pales par deux couches de peinture (Fig. IV.12), (Fig. IV.13).



Fig. IV.12 : La 1ere couche de la peinture.



Fig. IV.13 : la 2eme couche de peinture.

IV.3.2. Conception des bras :

Le diamètre du rotor de notre éolienne est de 1 m alors leur rayon est de $R=0.5$ m, Pour raccorder les bras avec l'arbre de rotation ($D_a=0.035$ m) on a besoin d'un autre tube de diamètre $D_t=0.042$ m (supérieure au diamètre de l'arbre) pour le souder avec les bras et le fixé sur l'arbre de rotation par des vis.

Donc pour obtenir le rayon de notre rotor nous prenons en compte le rayon du tube ($R_t=0.021$ m) plus la longueur du bras ($L_b=0.479$ m).

Alors : $0.5 = 0.021 + 0.479$

Remarque : on a prend la longueur du bras 0.48 m.

Afin d'appliquer cet travaille il faut que l'angle entre chaque bras et bras soit égale à 120° comme nous avons montré dans le schéma suivant :

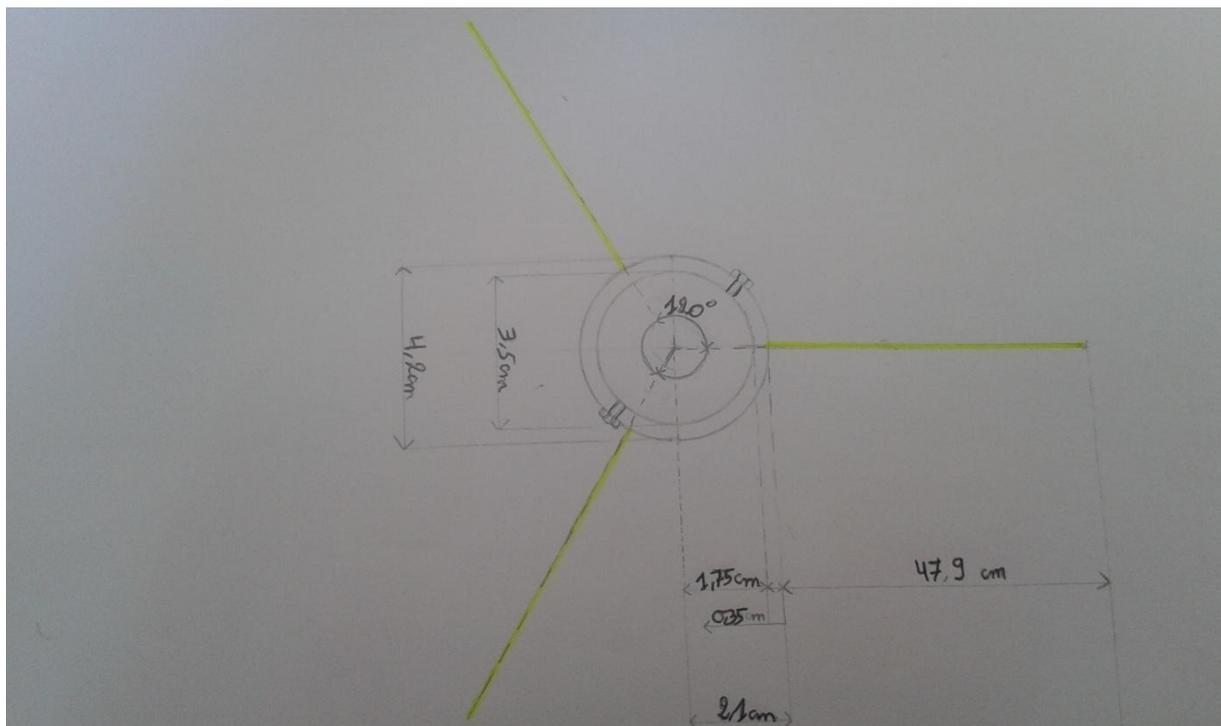


Fig. IV.14 : schémas de plan de conception.

IV.3.3. Rassemblage :

- 1) le premier pas c'est de mesuré et tracer les 6 barres (Fig. IV.15) (0.48 m pour chacune) avant le découpage.



Fig. IV.15 : l'étape de mesure des barres.

- 2) Maintenant nous découpons les 6 barres par l'ébarbeuse (Fig. IV.16).



Fig. IV.16 : le découpage des barres.

- 3) Ensuite nous devons cisailer deux tubes de 0.01 m de longueur et 0.042 m de diamètre (Fig. IV.17).



Fig. IV.17 : le tube.

- 4) Pour fixer ce tube sur l'arbre de rotation par deux boulons, il faut mettre deux trous et souder l'écrou sur chaque trou à la fin nous obtenons ce petit tube (dont il montrée dans ces photos).



Fig. IV.18 : le tube final.

- 5) Après la 6eme étape nous mettons les barres et le tube sur terre pour commencer de réaliser le schéma précédent (voir la figure. IV.14).



Fig. IV.19 : réaliser le schéma.

- 6) Le processus de soudure est passé par plusieurs étapes que nous avons montrées dans les photos se-dessous :



Fig. IV.20 : La soudure de premier bras avec le tube.



Fig. IV.21 : La soudure de deuxième bras.



Fig. IV.22 : La soudure de troisième bras.

Voici le résultat de l'assemblage des 3 bras avec le tube qui est sous forme d'une étoile (on a nommé ce motif "le bras étoilé" figure. IV.23) et on a proposé de mettre 2 bras pour chaque pale, donc nous fabriquons un autre bras étoilé en même technique et méthode de conception précédente, et cela afin de s'assurer l'équilibrage de notre éolienne, la protection de nos pales pour ne pas les endommager et pour éviter tous les causes de destruction.



Fig. IV.23 : le bras étoilé.

La fixation des pales avec les bras radiaux se fait par les opérations suivantes:

- A- souder la 1ere partie de l'équerre emboutie avec le bras étoilé, ensuite nous peignons ce dernier (Fig. IV.24):



Fig. IV.24 : la soudure finale de la 1ère de l'équerre emboutie avec le bras étoilé.

B- pour la 2ème partie de l'équerre :

La position de l'équerre sur la pale se fait après des mesures précises comme vous le voyez sur les photos (figure. IV.26), et le schéma de la figure .IV.25 qui montre les mesures sur lesquelles nous avons travaillé.

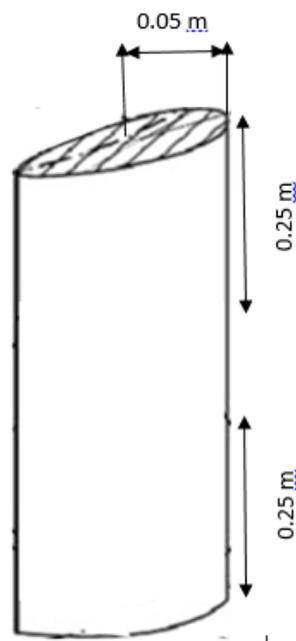


Fig. IV.25 : schémas de mesure.

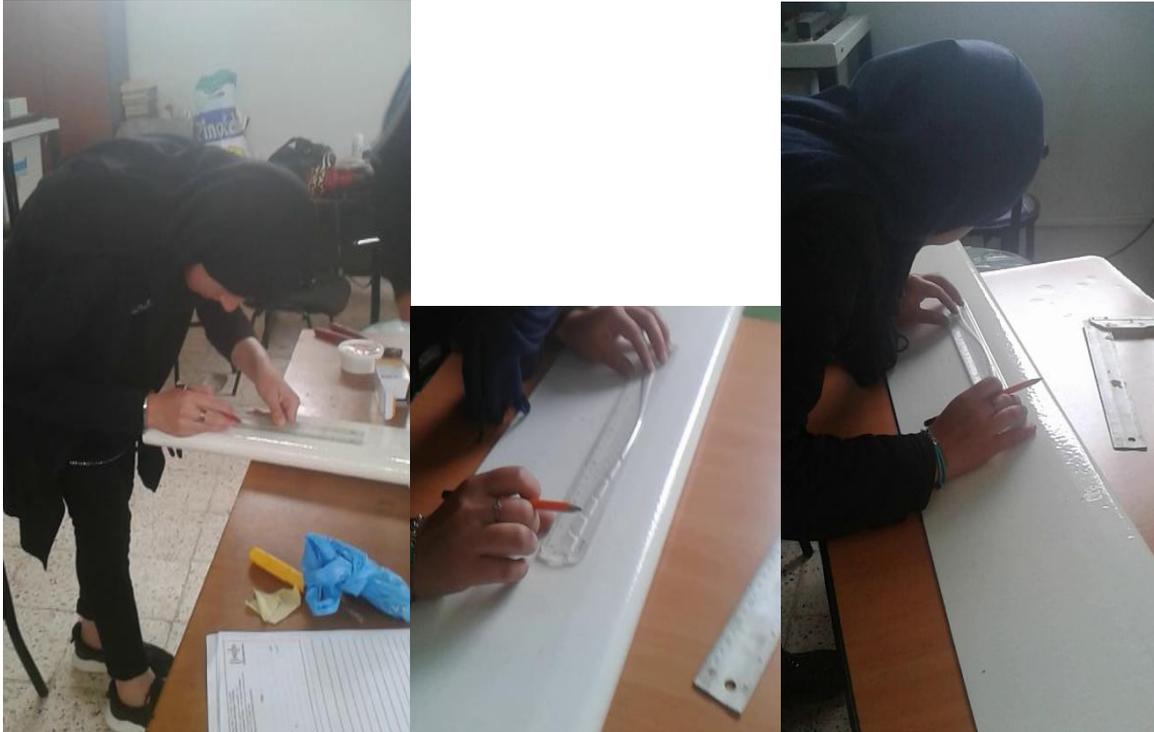


Fig. IV.26 : les étapes de mesures.

- C- Maintenant mettre l'équerre sur la pale et visser par 3 vis (cela se fait pour chaque équerre), (Fig. IV.27) (Fig. IV.28).

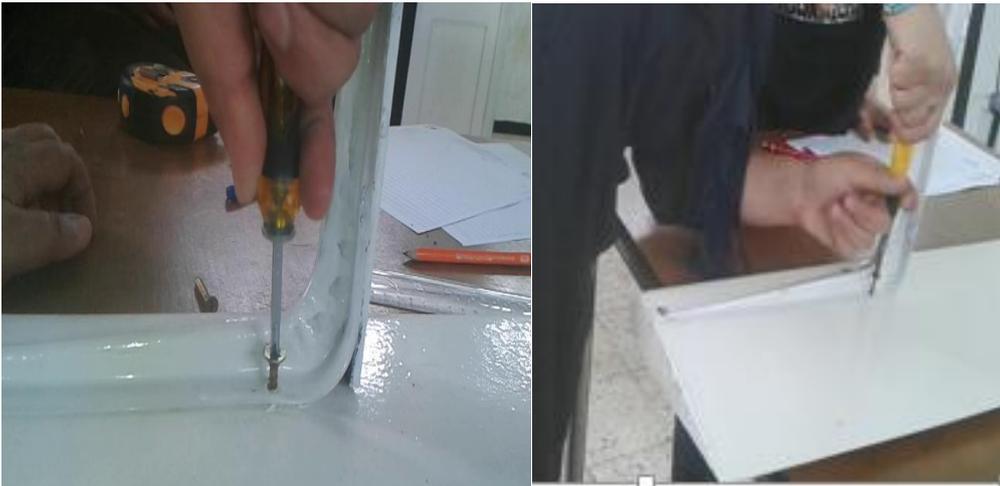


Fig. IV.27 : la fixation de 1 bras étoilés sur les pales.



Fig. IV.28 : la fixation de 2^{ème} bras étoilé.

Et voilà notre turbine finale à axe vertical de type DARRIEUS H de profil NACA 0018.



Fig. IV.29 : Turbine finale.

IV.4.Génératrice :

Comme nous savons tous, pour convertir l'énergie mécanique en énergie électrique nous avons besoin d'une génératrice qui se compose de stator et un rotor.

Stator :

Pour le stator il s'agit de 6 bobines de 130 spires chacune réalisée avec du fil de cuivre émaillé de 1.4mm.

-Les bobines sont reliées entre elles sous la forme de trois branches reliées en étoiles, chacune des branches étant constituée de deux bobines en série. Câbler les fils en 3 branches de 3 bobines chacune. Toutes les branches se rejoignent en un point (branchement en étoile).



Fig.IV.30: le stator.

-Rotor:

Dans le rotor il ya 8 aimants qui sont fixé sur un disque en acier.



Fig. IV. 31 : le rotor.

IV.5.Méthode de raccordement rotor - génératrice :

Pour lier l'arbre de rotation à la génératrice il faut souder l'arbre avec deux roulement de diamètre extérieur (0.05 m) et intérieur (0.036 m) et le disque de diamètre intérieur (0.052m) avec 4 trous pour le vissé avec le rotor de génératrice (tous ça à était faite dans un atelier d'un tourneur).



Fig. IV.32 : le choix des roulements.



Fig. IV.33 : le raccordement des deux roulements avec le disque.



Fig. .IV.34 : la soudure des roulements avec le disque.



Fig. IV.35 : résultat final de la soudure du disque avec les roulements.



Fig. IV.36 : compression et la soudure de cet ensemble sur l'arbre de rotation.



Fig. IV.37 : fin de construction de l'arbre de rotation.

IV.6.Montage de l'éolienne :

IV.6.1.Partie mécanique :

- 1) Nous fixons la génératrice sur un socle qui se compose de 4 pieds, et pour cela on a utilisé 4 barres en acier et 4 vis avec ses écrous (figure .IV.38.).



Fig. IV.38 : la fixation de la génératrice sur le socle.

- 2) On a lié l'arbre de rotation à la génératrice.



Fig. IV.39 : le socle relié avec la génératrice et l'arbre.

3) A la fin nous plaçons notre turbine autour de l'arbre de rotation et le fixé par des vis.



Fig. IV.40 : l'étape de fixation.



Fig. IV.41 : l'éolienne DARRIEUS-H.

IV.6.2.Partie électrique :

Pour redresser le courant on utilise un pont de diode et nous le branché avec la sortie de génératrice (3 phases) ensuite on a stocké le courant dans une batterie de 12 v, et pour allumer une ampoule de 220 v il faut utiliser un convertisseur de 12v /220v.

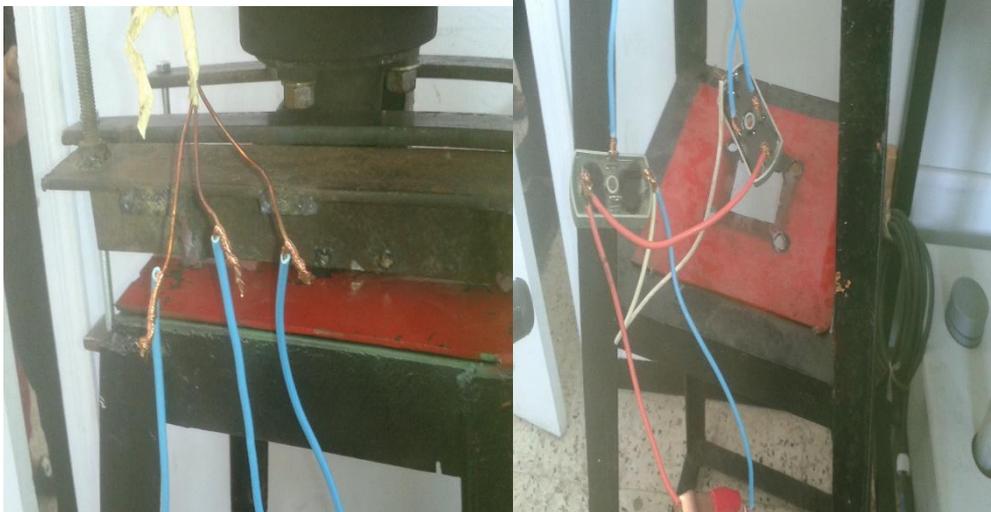


Fig. IV.42 : le branchement de la génératrice.



Fig. IV.43 : réalisation de l'installation électrique de l'éolienne.

IV.7.Essai de l'éolienne :

Nous avons fait le test de notre éolienne en 21/06/2018, la vitesse du vent en Oran était 8m/s et on a déterminé la vitesse de rotation de la turbine 110 tr/min à l'aide d'un chronomètre, après les calculs on a obtenue la vitesse angulaire de l'éolienne 11.51 rd /s.

Au même temps on a mesuré aussi la tension fourni par le générateur par un multimètre :



Fig. IV.44 : mesure de la tension par le multimètre.



Fig. IV.45 : le test de l'éolienne.

IV.8.Conclusion :

Notre réalisation est réussite d'après le test qu'on a fait, mais le rendement de notre éolienne n'est pas suffisant en raison des pertes mécaniques comme le poids des pales.



Fig. IV.46 : Notre éolienne complète.

CHAPITRE I

ENERGIE EOLIENNE

CHAPITRE II

ETUDE THEORIQUE DE L'EOLIENNE DARRIEUS

CHAPITRE III

PARTIE ELECTRIQUE

CHAPITRE IV

REALISATION DE L'EOLIENNE

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

L'Algérie possède un gisement éolien important, que ce soit sur le littoral, ou à l'intérieur du pays aux hauts plateaux ou encore plus vers l'intérieur, au Sahara.

Ces ressources peuvent contribuer dans le développement socioéconomique durable de quelque région très éloignées et isolées de façon très efficace avec un cout minime. Ceci nécessite une certaine maîtrise des technologies des éoliennes pour éviter une simple consommation de cette technologie, mais plutôt son adaptation aux conditions spécifiques de notre climat dans le souci d'une utilisation optimale, et pour cela notre projet s'intéresse sur l'énergie éolienne en particulier les éoliennes à axe verticale de type DARRIEUS de forme H tripale, nous avons réalisé ce prototype sur la base d'une étude théorique approfondie qui montre les caractéristiques aérodynamique d'un profil symétrique NACA 0018.

Le développement éminent de cette énergie dans le monde à travers les grands projets qui ont été réalisés nous montrons clairement l'importance de cette ressource naturelle, que l'Algérie doit l'exploiter en raison de la proximité d'épuisement du pétrole.

Dans notre étude, nous en déduisons que le rendement de l'éolienne est basé sur deux critères l'une est la vitesse de rotation de l'éolienne qui varie en fonction de la variation de vitesse du vent et aussi le diamètre du rotor de l'éolienne, le 2eme critère compte sur le choix du profil aérodynamique NACA.

Pour que le rendement résultant être tangible il faut transformer l'énergie cinétique du vent en énergie électrique à l'aide d'une génératrice compatible a une tension qui nous la voulue.

Parmi les difficultés qu'on a trouvées au cours de la réalisation de notre éolienne de type DARRIEUS forme H :

La construction des bras radiales et celle des pales étaient vraiment difficiles à cause de manque des moyens de réalisation. D'une autre part, on a essayé de trouver des aimants pour la réalisation de la génératrice, mais on a échoué, puisque l'achat des aimants était presque impossible en Algérie, la même chose pour la disponibilité des instruments de mesures.

Finalement, en tant que nous sommes des étudiantes débutantes nous aimerions de réaliser nos idées et aspirations, on espère que c'est un nouveau départ pour nous aider à développer l'énergie éolienne en Algérie.

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale

L'énergie est une composante essentielle de l'univers et l'une des formes de l'existence, elle est généralement divisée en deux types principaux: l'énergie renouvelable, qui dépend des ressources naturelles, elles se sont des sources d'énergies "infinies" et non polluantes car elles ne produisent pas de gaz à effets de serre, et d'autres non renouvelables qui dépend des énergies fossiles qui se sont formés avec le temps et sous l'influence d'une combinaison de facteurs, leurs présence sur terre est limitée et car le processus de fossilisation tarde plusieurs millions d'années pourtant les énergies fossiles représentent 80 % de l'énergie consommée dans le monde, mais leur utilisation pose des problèmes environnementaux car elle génère beaucoup de gaz à effets de serres. Tous ces types d'énergie nécessitent des mécanismes, des outils et des techniques spécifiques à extraire et à exploiter au profit de l'homme, dans le cadre desquels nous mettrons en lumière les énergies renouvelables.

Les avancées technologiques de ces dernières années nous permettent d'utiliser les ressources naturelles à notre disposition et de favoriser ainsi les énergies renouvelables au quotidien. Ces énergies ne sont pas gratuites leurs développements sera coûteux, mais c'est le prix à payé pour assurer l'indépendance énergétique des générations à venir. On compte 5 familles d'énergies renouvelables : l'énergie solaire, l'énergie hydraulique, l'énergie de la biomasse, la géothermie, l'énergie éolienne.

Nous avons choisi l'énergie éolienne pour notre mémoire par ce qu'elle se distingue par de nombreux avantages dont, par exemple, Le fait que l'énergie produite par une éolienne soit 100 % naturelle implique qu'elle ne génère aucune pollution, car il n'y a aucun rejet dans l'air suite à la transformation électrique.

Par ailleurs, le principe même d'une éolienne fait que la surface au sol nécessaire pour produire de l'énergie est relativement faible, à la différence de l'énergie solaire dont les panneaux photovoltaïques occupent une vaste superficie pour une puissance maximale limitée. L'énergie éolienne a aussi la particularité d'avoir un rendement supérieur en hiver, car le vent est généralement plus fort pendant la saison froide. C'est un point très positif pour la gestion du réseau énergétique.

Si les avantages de cette énergie sont nombreux, quelques inconvénients sont également à souligner. L'un des inconvénients majeurs de cette énergie reste sa difficulté à la prévoir. En effet, les vents sont difficiles à anticiper et il faut savoir que, si une éolienne a besoin d'un vent minimum pour démarrer, elle s'arrêtera de fonctionner en cas de vents supérieurs à 90 km/h, de plus, le coût de la construction d'une éolienne reste important, car son implantation nécessite l'intervention d'engins spéciaux.

Notre travail est basé sur la réalisation et la fabrication d'une éolienne à axe vertical et pour cela nous avons mené une étude approfondie sur ces turbines et tout ce qui les concerne.

Ce mémoire contient une introduction générale et quatre chapitres principaux :

Le premier chapitre présente l'histoire de l'énergie éolienne et leur développement dans le monde et surtout en l'Algérie, ensuite il donne une vue générale sur les types des éoliennes.

Le deuxième chapitre est basé sur l'éolienne DARRIEUS de type H et sur l'étude aérodynamique de profil "NACA" de cette turbine.

Le troisième chapitre montre le schéma explicatif de l'installation électrique, donc c'est la partie électrique de notre étude.

Dans le quatrième chapitre on a cité les étapes de notre conception avec les calculs qui nous la obtenue, et on termine par une conclusion générale.

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE I

Fig. I.1 : la première éolienne qui produit l'électricité.....	5
Fig. I.2 : éolienne de POUL LA COUR de puissance 25 KW	6
Fig. I.3 : éolienne axe verticale DARRIEUS	6
Fig. I.4 : éolienne de GEDSER	6
Fig. I.5 : Evolution de l'énergie éolienne dans le monde.....	8
Fig. I.6 : éolienne de 100 KW de grand vent	8
Fig. I.7 : éolienne d'Adrar 1953	9
Fig. I.8 : vitesses du vent moyennes doivent être supérieures à 6 m/s Adrar.....	10
Fig. I.9 : la ferme éolienne d'Adrar.....	10
Fig.1.10 : Conversion de l'énergie cinétique du vent	11
Fig. I.11 : Principaux organes du système de conversion éolien	11
Fig. I.12 : Éolienne à axe horizontale.....	13
Fig. I.13 : les types de l'éolienne à axe verticale	15
Fig. I.14 : l'éolienne SAVONIUS.	15
Fig. I.15 : l'éolienne DARRIEUS	16

CHAPITRE II

Fig. II.1 : les différents types de l'éolienne DARRIEUS.....	18
Fig. II.2 : les composants principaux de l'éolienne DARRIEUS.....	19
Fig. II.3: Représentation des performances des différents types d'éolienne.....	21
Fig. II.4 : fonctionnement de l'éolienne DARRIEUS.....	22
Fig. II.5 : forces aérodynamiques exercées sur une pale en fonction de sa position angulaire.23	
Fig. II.6 : représentation d'une description d'un profil	24
Fig. II.7 : représente le profil plan convexe	24
Fig. II.8 : le profil biconvexe dissymétrique	24
Fig. II.9 : le profil cambré	25
Fig. II.10 : le profil biconvexe symétrique.....	25
Fig. II.11 : le profil à double courbure	25

Fig. II.12 : portance et trainée sur un profil	27
Fig. II.13 : décollement de la couche laminaire et transition de la couche limite	27

CHAPITRE III

Fig. III.1 : génératrice à aimant permanent	31
Fig.III.2 : les graphes de courant continu et courant alternatif.....	31
Fig.III.3 : pont de diode.....	32
Fig. III. 4: le régulateur de charge	33
Fig. III. 5: batterie de stockage.....	33
Fig. III. 6: convertisseur 12v-220v.....	34

CHAPITRE IV

Fig. IV.1 : équerres embouties	36
Fig. IV.2 : une scie circulaire	37
Fig. IV.3 : Une raboteuse	37
Fig. IV.4 : l'ébarbeuse.....	37
Fig. IV.5 : machine de la menuiserie.....	38
Fig. IV.6 : Un poste de soudure	38
Fig. IV.7 : un double mètre ruban	38
Fig. IV.8 : la règle de mesure	39
Fig. IV.9 : La règle de niveau.....	39
Fig. IV.10 : les dimensions de notre profil NACA 0018	40
Fig. IV.11 : polissage des pales.....	40
Fig. IV.12 : La 1ere couche de la peinture	41
Fig. IV.13 : la 2eme couche de peinture.....	41
Fig. IV.14 : schémas de plan de conception.....	42
Fig. IV.15 : l'étape de mesure des barres	43
Fig. IV.16 : le découpage des barres	43
Fig. IV.17 : le tube	44
Fig. IV.18 : le tube final	44

Fig. IV.19 : réaliser les schémas.....	44
Fig. IV.20 : La soudure de premier bras avec le tube	45
Fig. IV.21 : La soudure de deuxième bras	45
Fig. IV.22 : La soudure de troisième bras	46
Fig. IV.23 : le bras étoilé.....	46
Fig. IV.24 : la soudure finale de la 1ère de l'équerre emboutie avec le bras étoilé	47
Fig. IV.25 : schémas de mesure	47
Fig. IV.26 : les étapes de mesures	48
Fig. IV.27 : la fixation de 1 bras étoilés sur les pales	48
Fig. IV.28 : la fixation de 2 ^{ème} bras étoilé	49
Fig. IV.29 : notre turbine finale.....	49
Fig. IV.30: le stator	50
Fig. IV. 31 : le rotor.....	50
Fig. IV.32 : le choix des roulements	51
Fig. IV.33 : le raccordement des deux roulements avec le disque	51
Fig. IV.34 : la soudure des roulements avec le disque	52
Fig. IV.35 : résultat final de la soudure du disque avec les roulements	52
Fig. IV.36 : compression et la soudure de cet ensemble sur l'arbre de rotation	53
Fig. IV.37 : fin de construction de l'arbre de rotation.....	53
Fig. IV.38 : la fixation de la génératrice sur le socle	54
Fig. IV.39 : le socle relié avec la génératrice et l'arbre.....	54
Fig. IV.40 : l'étape de fixation	55
Fig. IV.41 : l'éolienne DARRIEUS-H.....	56
Fig. IV.42 : le branchement de la génératrice	57
Fig. IV.43 : réalisation de l'installation électrique de l'éolienne	57
Fig. IV.44 : mesure de la tension par le multimètre	58
Fig. IV.45 : le test de l'éolienne	58
Fig. IV.46 : Notre éolienne complète.....	59

LISTE DES SYMBOLES

S : Surface balayée du rotor (m^2).

C : Couple (N.m).

c : Corde du profil (m).

Cd : Coefficient de trainée.

CL : Coefficient de portance.

CN : Coefficient de la force normale.

Cp : Coefficient de puissance.

CT : Coefficient de la force tangentielle.

D : Force de trainée (N).

L : Force de portance (N).

m : Débit massique (Kg/s).

N : Force normale (N).

Np : Nombre de pales.

P : Puissance (W).

Dr : Le diamètre de rotor (m).

Da : Le diamètre de l'arbre de rotation (m).

R : Rayon du rotor (m).

D_t : Diamètre de tube (m).

R_t : Rayon de tube (m).

L_t : Longueur de tube (m).

E_{\max} : L'épaisseur maximale de la pale (m).

Re : Nombre de Reynolds.

V_0 : Vitesse de rotation de l'éolienne (tr/s).

V_{∞} : Vitesse du vent non perturbé (m/s).

W : Vitesse relative de vent (m/s).

λ : Vitesse spécifique (TSR « Tip Speed Ratio »).

α : Angle d'attaque (rad)

μ : Viscosité dynamique (Pa.s)

ρ : Masse volumique (Kg/m³)

ω/Ω : Vitesse angulaire (rad/s)

C_c : coefficient de couple.

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I.1: Avantages et inconvénients horizontal / vertical	16
Tableau. I.2 : Avantages et inconvénients Savonius / Darrieus	17
Tableau .IV.1 : les caractéristiques de l'éolienne.....	39



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique

جامعة وهران 2 محمد بن أحمد
Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed

معهد الصيانة و الأمن الصناعي
Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle

Département de Maintenance en Electromécanique

MÉMOIRE

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : électromécanique

Spécialité électromécanique Industrielle

Thème :

**Réalisation d'une éolienne à axe vertical DARRIEUS
type H**

Présenté et soutenu publiquement par :

-M^{elle} **KHALDI Amina**

-M^{elle} **HAMIA Siham**

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Grade	Qualité
M ^{eme} Rahiel Rachida	MCB	Présidente
M ^{eme} Aouimer Yamina	MAA	Examinatrice
M ^{eme} Harouz Kaltoum	MAA	Encadreur

Juin 2018

Remerciement

Au terme de cette étude, nous remercions avant tout, Dieu tout puissant de nous avoir guidé durant toutes nos années de formation et nous avoir permis la réalisation du présent travail.

Nos plus vifs et sincères remerciements s'adressent tout particulièrement à notre université

*Nos gratitudes s'adressent à notre encadreur, Mme HARROUZ
KELTOUM*

Nous tenons également à exprimer nos plus vifs remerciements aux honorables membres du jury qui nous ont Fait l'honneur de corriger et juger notre travail, à Mme.Djebli.Y en tant qu'examinatrice, Mme Rahiel.R en tant que présidente.

Nous tenons aussi à remercier, Mr Belabbas.A, Mr.Darramdan.M, qui nous ont chaleureusement accueillis, orienté et valorisé notre travail.

Enfin, nous remercions tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin à réaliser ce modeste travail, à Mr.Makhlouf.S , à Mr.Amine

Dédicace

Je remercie tout d'abord le bon dieu tout puissant qui ma donné la force et le courage pour terminer ce travail.

Je dédie ce modeste aux deux personnes que j'aime le plus dans la vie, ma raison de vivre qui méritent tout le respect du monde qu'ils trouvent ici le témoignage de mon profond amour et mon dévouement infini.

Ma mère, source de compassion et de tendresse, l'exemple de patience et de sacrifice, la raison de mon existence et le support de ma vie ;

A mon très cher père, l'homme le plus parfait dans le monde, mon grand exemple et le secret de ma réussite ;

Que dieu les protège et leur réserve une longue vie pleine de bonheur et de santé.

A mon frère, mes sœurs et toute la famille

A mes amies

H.Sihem

Dedicace

Je remercie tout d'abord le bon dieu tout puissant qui ma donné la force et le courage pour terminer ce travail.

Je dédie ce travail de fin d'études à ma famille ;

Ma mère, la flamme de mon cœur, mon bonheur

mon père, mon exemple éternel ;

pour leur patience, conseils, aident et aussi de m'encourager à la réalisation de ce modeste travail.

Mes frères, Mes amies qui m'ont encouragé, contribué à rendre ces années inoubliables, Je n'oublierai jamais l'ambiance agréable que nous avons passée ensemble

A tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

k.Amina

RESUME

Dans ce mémoire, on a défini tout les types des éoliennes, puis nous avons approfondi notre étude sur l'aérodynamique des éoliennes à axe Vertical de type DARRIEUS –H de profil symétrique « NACA 0018 ».

Nous avons également abordé la partie électrique de cette éolienne, ensuite on a mettre en place les étapes que nous avons suivies pendant la réalisation de la turbine et nous avons rédigé les valeurs de la vitesse de rotation de l'éolienne et la tension fournie par le générateur grâce à le test de notre éolienne.

Mot clé : EOLIENNE, DARRIEUS, NACA.

Abstract:

In this thesis, we have defined all the types of wind turbines, then we have deepened our study on the aerodynamics of wind turbines Vertical axis type DARRIEUS -H symmetrical profile "NACA 0018"

We also approached the electrical part of this wind turbine, then we set up the steps that we followed during the realization of the turbine and we wrote the values of the rotational speed of the wind turbine and the voltage supplied by the generator thanks to the test of our wind turbine.

ملخص

في هذه المذكرة ، عرفنا جميع أنواع توربينات الرياح ، ثم تعمقنا في الدراسة الديناميكية للتوربينات الريحية ذات المحور "NACA 0018" -H الرأسي من نوع دارريوس .

لقد تناولنا أيضا الجزء الكهربائي من توربين الرياح و من ثم وضعنا الخطوات التي اتبعناها أثناء تحقيق التوربين وكتبنا قيم سرعة دوران توربين الرياح والجهد الذي قدمه المولد من خلال اختبار توربين الرياح.

SOMMAIRE

Résumé	I
Liste des symboles	II
Liste des figures	III
Liste des tableaux	IV
Introduction générale.....	1

Chapitre I : ENERGIE EOLIENNE

I.1. Introduction	5
I.2. Historique de l'énergie éolienne	5
I.3. Développement de l'énergie éolienne dans le monde	7
I.4. Énergie éolienne en l'Algérie	8
I.5. Etude théorique	11
I.5.1. Définition	11
I.5.2. Principe de fonctionnement	11
I.5.3. Origine du vent	12
I.5.4. Vitesse et direction du vent.....	12
I.5.5. Variations de la vitesse du vent.....	13
I.5.5.1. Variation cyclique	13
I.5.5.2. Variation journalière	13
I.6. Choix d'emplacement d'une éolienne.....	13
I.7. Différents types d'éoliennes	13
I.7.1. éolienne à axe horizontal.....	13
I.7.2. éolienne à axe vertical.....	14

I.8. Différents types d'éoliennes à axe vertical	14
I.8.1. Type de SAVONIUS	14
I.8.2. Type DARRIEUS	15
I.9. Avantages et inconvénients	16
I.9.1. axe vertical / axe horizontal	16
I.9.2. DARRIEUS / SAVONIUS	17
I.10. Conclusion	17

Chapitre II : ÉTUDE THEORIQUE DE L'ÉOLIENNE DARRIEUS

II.1. Introduction	18
II.2. Définition	18
II.2.1. Différents types	18
II.2.2. Description de l'éolienne	19
II.3. Limite de BETZ.....	20
II.4. Principe de fonctionnement	21
II.5. Descriptions aérodynamique	23
II.5.1. Géométrie d'une pale d'éolienne	23
II.5.2. Différents types des profils	24
II.6. Forces exercées sur le profil	26
II.6.1. Force de portance L	26
II.6.2. Force de traînée D	26
II.7. Couche limite	27
II.8. Nombre de Reynolds Re	28

II.9. Puissance	28
II.10. Couple moteur	29
II.11. Conclusion	29

Chapitre III : PARTIE ELECTRIQUE

III.1. Introduction	31
III.2.1. Générateur	31
III.2.2. Principe de fonctionnement	32
III.3. Conclusion.....	34

CHAPITRE IV : REALISATION DE L'EOLIENNE

IV.1. Introduction	36
IV.2.1. Matériaux utilisés	36
IV.2.2. Outils et matériels	37
IV.2.3. Outils de métrage	38
IV .3. Différentes étapes de conception.....	39
IV.3.1. Conception des pales.....	39
IV.3.2. Conception des bras	42
IV.3.3. Rassemlage.....	46
IV.4. Génératrice	50
IV.5. Méthode de raccordement rotor-génératrice	51
IV.6. Montage de l'éolienne.....	54
IV.6.1. Partie mécanique	54
IV.6.2. Partie électrique.....	57

IV.7.Essai de l'éolienne	58
IV.8. Conclusion	58
Conclusion générale	61
Bibliographie	62