

## ➤ INTRODUCTION :

Avec l'épuisement progressif des énergies fossiles, les énergies renouvelables se développent de plus en plus. Elles ont l'avantage d'utiliser des sources inépuisables d'énergie naturelle (soleil, vent, eau, bois, etc.) et de ne pas nuire à l'environnement. Ce type d'énergie ne couvre encore que 20% de la consommation mondiale d'électricité.

Une source d'énergie est renouvelable ; si c'est le fait d'en consommer ne limite pas son utilisation future. C'est le cas de l'énergie du soleil, du vent, des cours d'eau, de la terre et généralement de la biomasse humide ou sèche. Ce n'est pas le cas pour les combustibles fossiles et nucléaires.

L'utilisation des énergies renouvelables n'est pas nouvelle. Celles-ci sont exploitées par l'homme depuis longtemps.

Les énergies renouvelables constituent donc une alternative aux énergies pour les avantages suivants :

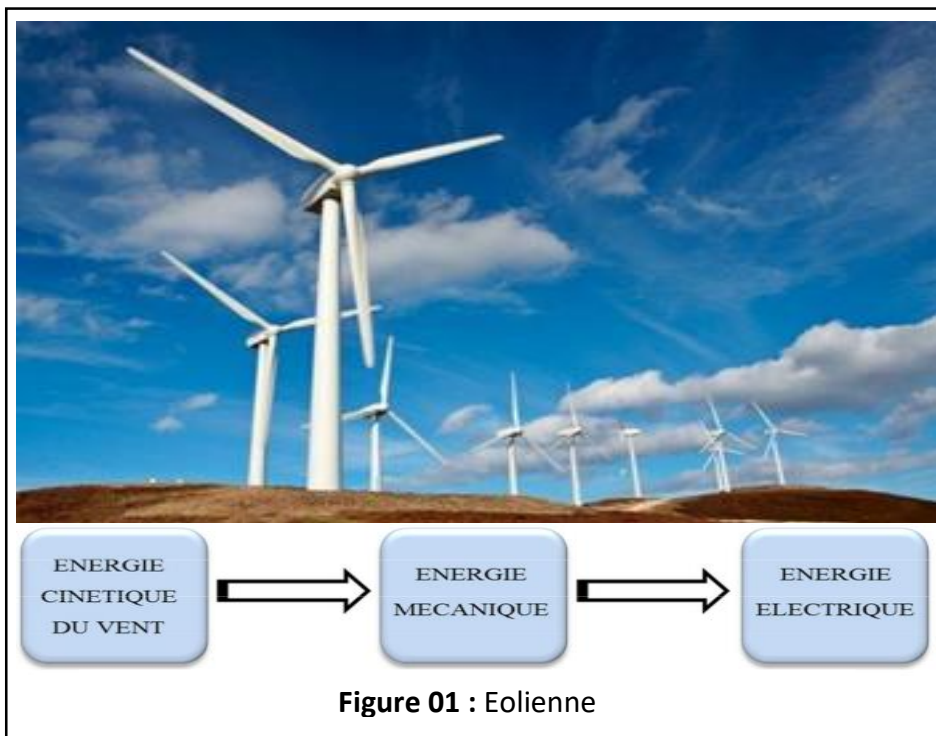
- Elles ont un faible impact sur l'environnement, car elles n'émettent pas de gaz à effet de serre et ne produisent pas de déchets
- Elles sont inépuisables
- Elles permettent une production décentralisée adaptée à la fois aux ressources et aux besoins locaux
- Elles offrent une importante indépendance énergétique.

La production d'électricité renouvelable a atteint 3810.3 TWh en 2009, soit 19.1% de la production d'électricité mondiale.

## 1) L'énergie Eolienne :

L'énergie éolienne est une source d'énergie qui dépend du vent. Le soleil chauffe inégalement la Terre, ce qui crée des zones de températures et de pression atmosphérique différentes tout autour du globe. De ces différences de pression naissent des mouvements d'air, appelés vent. Cette énergie permet de fabriquer de l'électricité dans des éoliennes, appelées aussi aérogénérateurs, grâce à la force du vent.

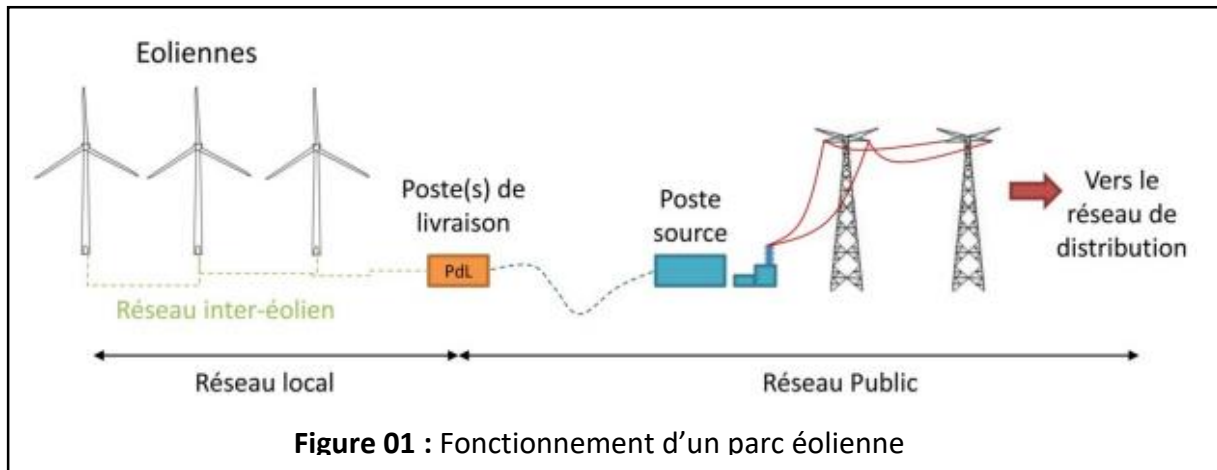
L'énergie électrique ou mécanique produite par une éolienne dépend de 3 paramètres : la forme et la longueur des pales, la vitesse du vent et la température qui influe sur la densité de l'air.



## 2) Structure générale d'un parc éolienne :

Un parc éolien est une centrale de production d'électricité à partir de l'énergie du vent. Il est composé d'un ou plusieurs aérogénérateurs et de leurs annexes :

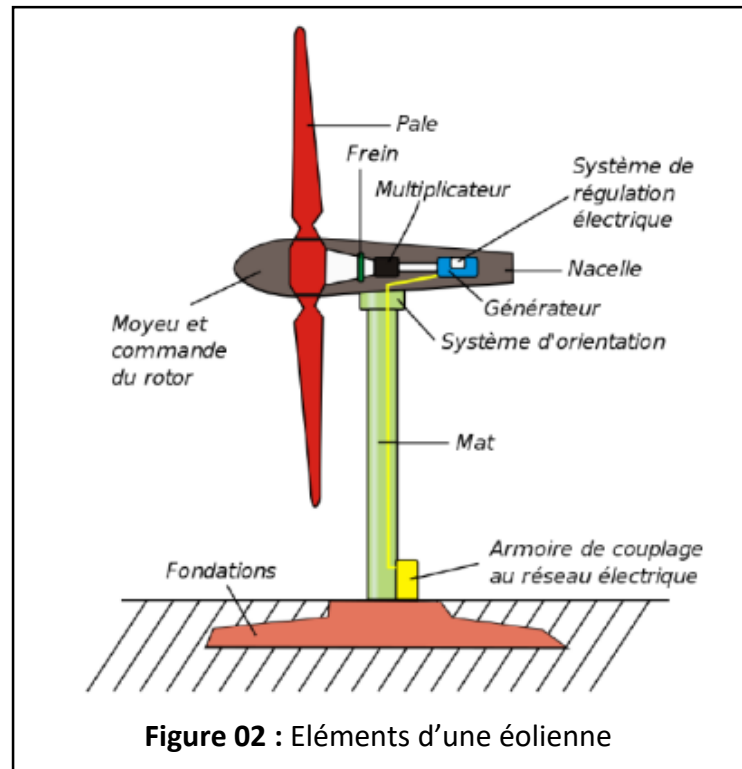
- Une éolienne fixée sur une fondation adaptée, accompagnée d'une aire stabilisée appelée « plateforme » ou « aire de grutage »
- Un réseau de câbles électriques enterrés permettant d'évacuer l'électricité produite par chaque éolienne vers le poste de livraison électrique (appelé « réseau inter-éolien »)
- Un ou plusieurs postes de livraison électrique, concentrant l'électricité des éoliennes et organisant son évacuation vers le réseau public d'électricité au travers du poste source local (point d'injection de l'électricité sur le réseau public)
- Un réseau de câbles enterrés permettant d'évacuer l'électricité regroupée au(x) poste(s) de livraison vers le poste source (appelé « réseau externe » et appartenant le plus souvent au gestionnaire du réseau de distribution d'électricité)
- Un réseau de chemins d'accès
- Eventuellement des éléments annexes type mât de mesure de vent, aire d'accueil du public, aire de stationnement, etc.



### 3) Architecture d'un aérogénérateur :

Une éolienne de production d'électricité comprend quatre composants majeurs :

- **Le mât** est généralement composé de 3 à 5 tronçons en acier (dont 88% des modèles sont construits à base d'acier) ou 15 à 20 anneaux de béton surmonté d'un ou plusieurs tronçons en acier pour simplifier la liaison avec la nacelle. Ce dernier permet aux pales de l'éolienne de se trouver à une hauteur suffisante pour bénéficier d'un vent plus régulier et plus fort. Le mât de l'éolienne contient également des éléments électriques et électroniques nécessaires à la production d'électricité.
- **La nacelle** au sommet du mât, qui abrite plusieurs éléments fonctionnels :
  - Le multiplicateur (certaines technologies n'en utilisent pas).
  - Le système de freinage mécanique.
  - Le système d'orientation de la nacelle qui place le rotor face au vent.
  - Les outils de mesure du vent (anémomètre, girouette).
  - Le balisage diurne et nocturne nécessaire à la sécurité aéronautique.
- **Le rotor** qui est composé de trois pales (éoliennes actuelles) construites en matériaux composites et réunies au niveau du moyeu. Il se prolonge dans la nacelle pour constituer l'arbre lent.



- **Les fondations** pour une éolienne d'une puissance de 3MW, les fondations ont un diamètre de 20 mètres et une profondeur d'environ 3 mètres. On retrouve ainsi 800 tonnes de béton armé, 40 tonnes d'acier et 400 tonnes de terre recouvrant le radier, ce qui correspond à la consommation en béton d'un immeuble de 12 appartements. Les fondations dépendent énormément de la nature du sol, du vent et de la présence de nappe d'eau.



#### 4) Principe de fonctionnement d'une éolienne :

La fabrication d'électricité par une éolienne est réalisée par la transformation de l'énergie cinétique du vent en énergie électrique, selon plusieurs étapes :

- **Transformation de l'énergie par les pales :** les pales fonctionnent sur le principe d'une aile d'avion. La différence de pression entre les deux faces de la pale crée une force aérodynamique, mettant en mouvement le rotor par la transformation de l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique.
- **Accélération du mouvement de rotation grâce au multiplicateur :** les pales tournent à une vitesse relativement lente, de l'ordre de 5 à 15 tours par minute, d'autant plus lente que l'éolienne est grande. La plupart des générateurs ont besoin de tourner à très grande vitesse (de 1 000 à 2 000 tours par minute) pour produire de l'électricité. C'est pourquoi le mouvement lent du rotor est accéléré par un multiplicateur.
- **Production d'électricité par le générateur :** l'énergie mécanique transmise par le multiplicateur est transformée en énergie électrique par le générateur. En tournant à grande vitesse, le générateur produit de l'électricité à une tension d'environ 690 volts.
- **Traitement de l'électricité par le convertisseur et le transformateur :** l'électricité produite ne peut pas être utilisée directement. Elle est traitée grâce à un convertisseur, puis sa tension est élevée à 20 000 volts par un transformateur. L'électricité est alors acheminée à travers un câble enterré jusqu'à un poste de transformation pour être injectée sur le réseau électrique.

#### 5) Principe de fonctionnement d'une éolienne :

Quand le vent se lève, l'unité centrale grâce à la girouette située à l'arrière de la nacelle, commande aux moteurs d'orientation de placer l'éolienne face au vent. Les trois pales sont mises en mouvement par la seule force du vent. Elles entraînent avec elles l'arbre principal qui est lié à l'arbre d'entrée du multiplicateur.

Dès que la vitesse du vent sera suffisante (4 m/s soit environ 15 km/h), l'éolienne peut être couplée au générateur par l'arbre de sortie du multiplicateur et peut fournir de l'électricité au réseau. Les pales tournent alors à une fréquence de rotation de 30 tours par minute et entraînent le générateur à 1500 tours par minute. Cette fréquence de rotation restera constante tout au long de la période de production. Lorsque la vitesse du vent atteint (14 m/s soit 50 km/h), l'éolienne fournit sa puissance nominale. Le générateur délivre alors un courant électrique alternatif à la tension de 690 volts à 50 Hz dont l'intensité varie en fonction de la vitesse du vent. Ainsi, lorsque la vitesse du vent croît, la portance s'exerçant sur les pales augmente et la puissance délivrée par le générateur s'accroît.

Pour des vitesses de vent supérieures à 14 m/s (soit environ 50 km/h), la puissance est maintenue constante en réduisant progressivement la portance des pales. L'unité hydraulique régule cette portance en modifiant l'angle de calage des pales qui pivotent sur leurs axes. Lorsque la vitesse du vent dépasse 25 m/s (soit 90 km/h), les pales sont mises en drapeau (parallèles à la direction du vent) et leur portance devient quasiment nulle. Tant que la vitesse du vent reste supérieure à 90 km/h, le rotor de l'éolienne est « en roue libre » et le générateur est déconnecté du réseau : l'éolienne ne produit plus d'électricité. Dès que la vitesse du vent diminue, l'éolienne se remet en production.

Toutes ces opérations sont entièrement automatiques et gérées par l'unité centrale. En cas d'arrêt d'urgence, un frein à disque placé sur l'arbre rapide du multiplicateur permet de stopper l'éolienne afin d'éviter sa destruction.

Au pied de l'éolienne, un transformateur convertit la tension de 690 volts en 20000 volts, tension du réseau national d'Électricité de France sur lequel toute l'électricité produite est déversée.

## 6) Différents types d'éoliennes :

Il existe deux principaux types d'éoliennes qui se différencient essentiellement dans leur organe capteur d'énergie à savoir l'aéroturbine. En effet, selon la disposition de la turbine par rapport au sol on obtient une éolienne à axe vertical (VAWT) ou à axe horizontal (HAWT) :

### 6.1) Axe vertical (VAWT) :

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

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

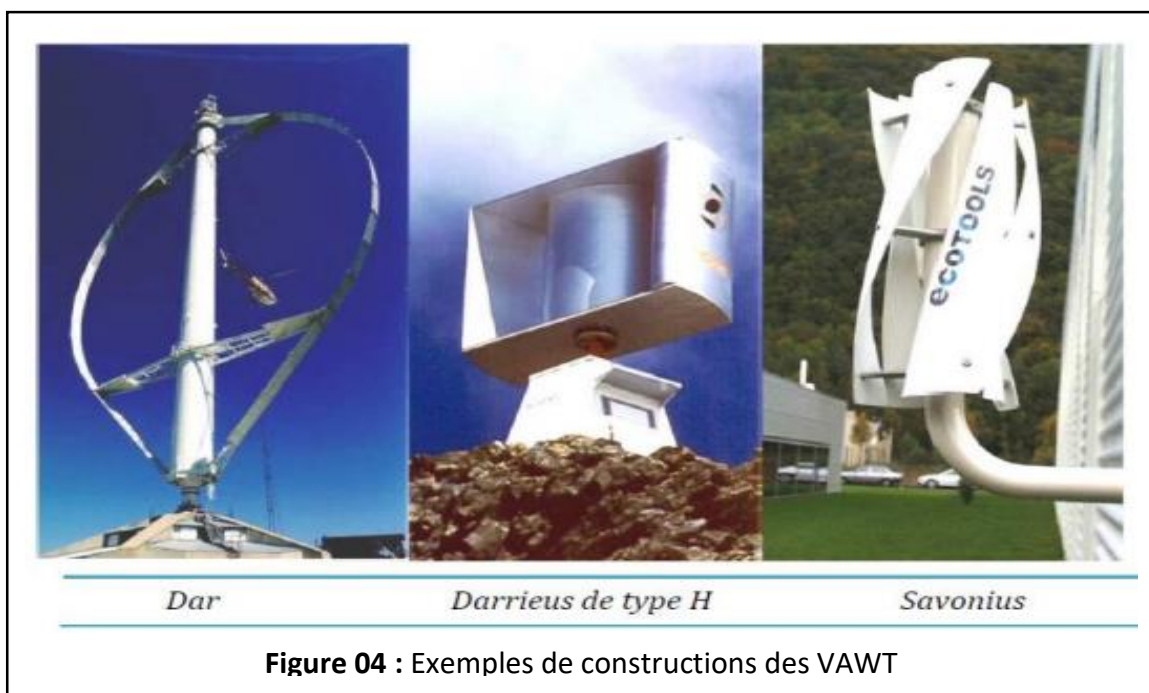
#### 6.1.1) Avantages :

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

- La boîte vitesse et les autres équipements situés au sol ce qui réduit les coûts de maintenance.

#### 6.1.2) Inconvénients :

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



**Figure 04 :** Exemples de constructions des VAWT

#### 6.2) **Axe horizontal (HAWT) :**

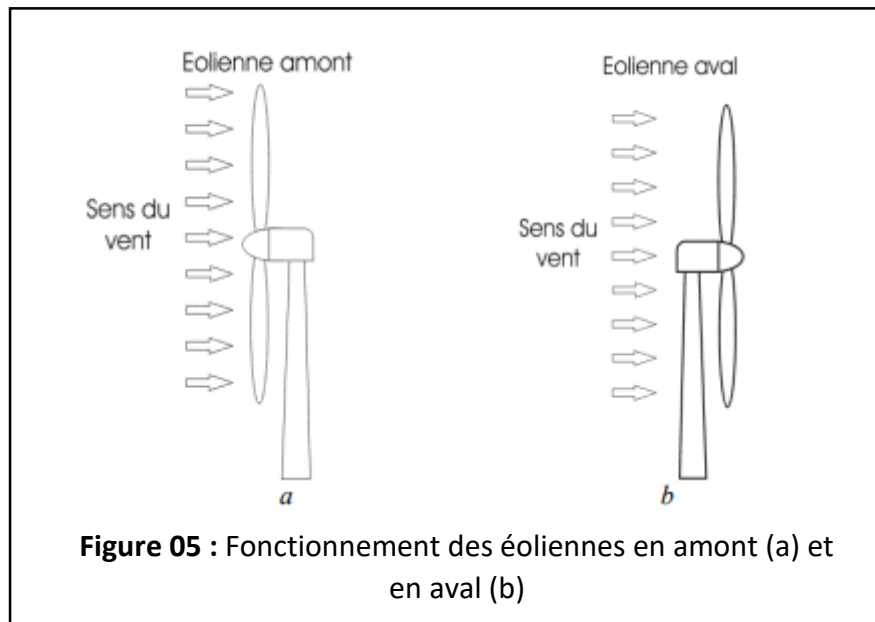
Ce sont les éoliennes actuellement les plus répandues sans doute à cause de leurs avantages remarquables, elles comportent généralement des hélices à deux ou trois pales face ou sous le vent

##### 6.2.1) **Avantages :**

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

### 6.2.2) Inconvénients :

- Coût de construction très élevé.
- L'appareillage se trouve au sommet de la tour ce qui gêne l'intervention en cas d'incident.
- Les pales doivent toujours être orientées vers le vent, ce qui les oblige à changer constamment de direction pour une efficacité maximale



**Figure 05 :** Fonctionnement des éoliennes en amont (a) et en aval (b)

### 6.3) Catégories des éoliennes à axe horizontal

Les éoliennes à axe horizontal se divisent en deux catégories : industrielles et domestiques (Multon, 1999).

Les éoliennes industrielles produisent plus d'énergie et donc elles sont les plus chères. Elles sont réservées à des applications de forte puissance. Leur mât possède une hauteur de 50 à 120 m et un diamètre de 4 à 6 m. Ceci nécessite des fondations très puissantes pour soutenir l'ensemble. La hauteur totale d'une éolienne industrielle est de 25 à 180 m. Sa puissance varie entre 100 kW et 5 MW. À noter que les éoliennes qui produisent une puissance comprise entre 15 kW et 60 kW sont dites éoliennes semi-commerciales. Leur mât est compris entre 12 et 30 m. Concernant les éoliennes domestiques, celles-ci sont encore appelées petites éoliennes dont la puissance est comprise entre 100 W et 20 kW. Leur mât ne dépasse pas 12 m. Vu leur taille relativement petite, elles peuvent être installées dans les zones urbaines. En plus la nuisance sonore est quasi nulle. Le Tableau 1 illustre la distribution de puissance pour chaque catégorie.



**Tableau 01 : Distribution des puissances des éoliennes selon leurs catégories**

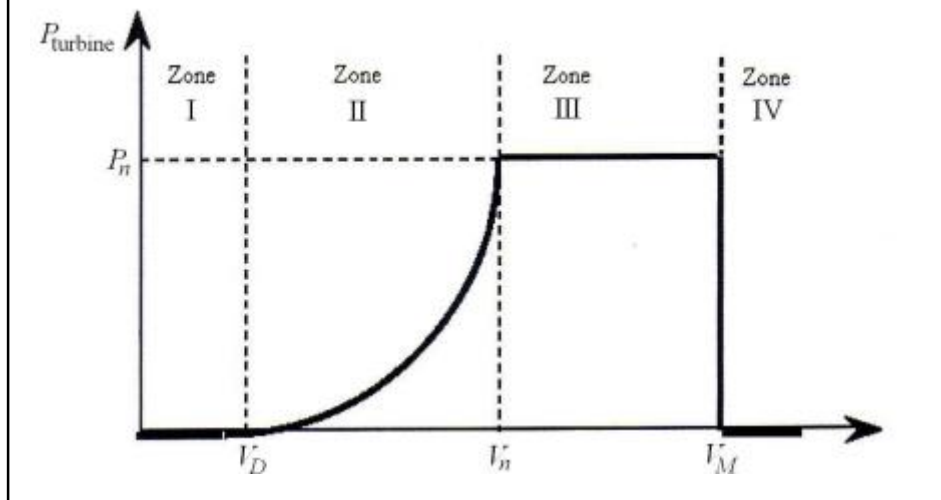
Éoliennes commerciales kW	Éoliennes industrielles kW	Éoliennes domestiques W
15	100	100
20	200	200
30	300	300
50	500	400
60	600	600
	750	750
	1 000	1 000
	1 500	2 000
	2 000	3 000
	3 000	5 000
	4 000	10 000
	4 500	20 000
	5 000	

#### 6.4) Courbe de puissance et zones de fonctionnement

Il est très important de noter que l'éolienne ne peut pas fonctionner quelle que soit la vitesse du vent. Il existe une vitesse minimale pour son démarrage et une vitesse maximale au-delà de laquelle la turbine risque de s'endommager. En fait, l'éolienne possède quatre zones de fonctionnement :

- a) **Zone I:** quand la vitesse du vent est inférieure à la vitesse de démarrage minimum – la turbine est arrêtée.
- b) **Zone II:** dans cette zone, la puissance est proportionnelle au cube de la vitesse du vent.
- c) **Zone III:** à partir de la vitesse nominale, la puissance est maintenue constante avec des méthodes mécaniques de limitation de vitesse de la turbine.
- d) **Zone IV:** une fois la vitesse maximum atteinte il est dangereux de laisser l'éolienne tourner, des systèmes de freinage mécaniques, souvent un frein à disque, sont activés pour arrêter complètement la turbine.

**Figure 06 : Courbe de puissance et zones de fonctionnement d'une éolienne.**



## 7) Comparaison entre les éoliennes à axe horizontal et les éoliennes à axe vertical :

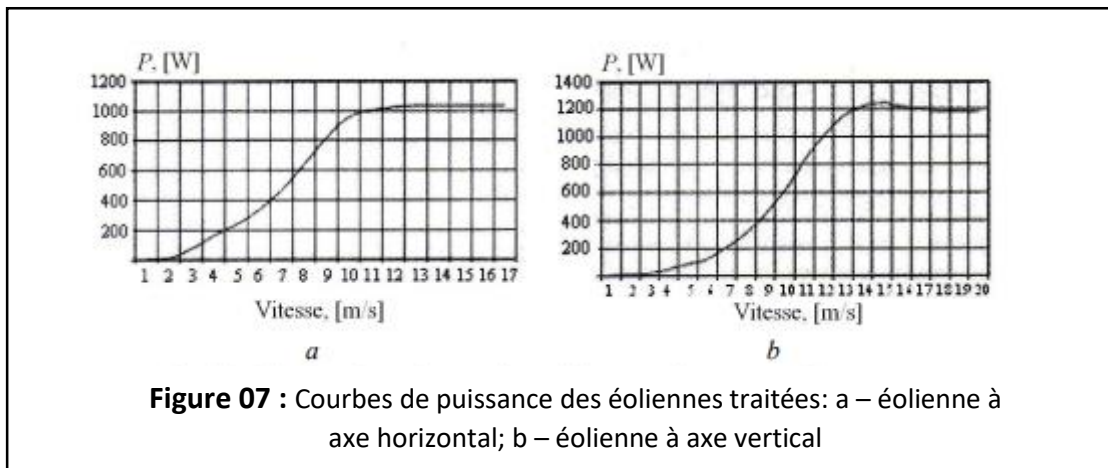
Considérons deux éoliennes de même puissance nominale (1 kW) et fabriquées par la même compagnie chinoise – “Qingdao Hongkun Wind Power Equipment, Ctd”. Une des éoliennes est à axe horizontal, l'autre est à axe vertical. Les caractéristiques de ces deux éoliennes sont données dans le Tableau 2. Les courbes de puissance en fonction de la vitesse de vent de ces éoliennes sont illustrées par la Fig. 07.

**Tableau 02 : Caractéristiques des éoliennes étudiées**

Axe de l'éolienne	Poids kg	Prix USD	Nombre de lames	Hauteur du mat m	Diamètre m	Vitesse du vent m/s	Tension V
Horizontal	320	1200	3	6	3,2	3...25	48
Vertical	395	2000	6	8	1,8	3...30	220

En fait, l'étude menée sur ces deux types d'éoliennes montrent que :

- L'éolienne à axe horizontal démarre à une vitesse du vent supérieure ou égale à 2,5 m/s. Par contre, celle à axe vertical nécessite une vitesse qui avoisine 3,3 m/s.
- L'augmentation de la puissance de l'éolienne à axe horizontal en fonction de la vitesse du vent est plus rapide que celle à axe vertical. Exemple, pour une vitesse du vent de 4 m/s la puissance produite par l'éolienne à axe horizontal est égale à 200 W tandis que celle délivrée par l'éolienne à axe vertical produit 100 W.



- c) Le coefficient de performance de l'éolienne à axe horizontal est égal à 0,593. Celui de l'éolienne à axe vertical avoisine 0,3.
- d) L'éolienne à axe horizontal de diamètre 3 m et de hauteur 6 m occupe plus d'espace que celle à axe vertical, qui est caractérisée par un diamètre de 1,35 m et d'une hauteur de 2,2 m. En général, plus la hauteur de l'éolienne est grande, plus sa production est élevée. Mais cet avantage est limité dans les zones urbaines par des lois à respecter.
- e) Le rendement de l'éolienne à axe horizontal est supérieur à celui de l'éolienne à axe vertical,
- f) L'éolienne à axe horizontal est plus solide et sa fabrication coûte moins cher que celle à axe vertical.
- g) L'éolienne à axe vertical possède l'avantage d'avoir les organes de commande et le générateur au niveau du sol donc facilement accessibles. À noter que les éoliennes à axe vertical sont de conception plus complexe que les éoliennes à axe horizontal mais s'adaptent plus facilement à des zones de vent irrégulier alors que les éoliennes à axe horizontal doivent être équipées d'un système d'orientation par gouverne qui assure une orientation face au vent. En plus, les éoliennes à axe vertical ne connaissent pas les limites dues à la taille des pales et à la vitesse des vents, elles peuvent donc être beaucoup plus adaptées et performantes dans les zones de vents extrêmes.

## 8) Cout d'installation d'une éolienne :

Estimation de prix de la pose d'une éolienne, les prix varient en fonction du modèle de l'éolienne, de sa puissance, de sa taille ainsi que des travaux d'ancrage nécessaire à son installation. Installer une éolienne chez soi demande un budget conséquent, entre **10 000 euros et 55 000 euros**, installation comprise, selon le type d'éolienne sélectionné. Cependant, des aides sont susceptibles de faire baisser le coût d'un projet éolien.

**Tableau 3 : Tarifs d'installation d'éolienne**

	Prix minimum	Prix moyen	Prix maximum
Éolienne (pose et fourniture)	10000 €	32500 €	55000 €

### **8.1) Les bonnes questions à se poser en amont**

Avant de faire poser votre **éolienne**, il faut vous interroger sur les autorisations à obtenir. Seules les éoliennes de plus de 12 mètres nécessitent un dépôt de permis de construire. En dessous de cette taille, une déclaration préalable est indispensable uniquement si votre habitation se trouve en zone protégée ou à proximité d'un monument historique. De plus, si le mat dépasse 50 mètres, une étude d'impact sera obligatoire pour vérifier que les oiseaux ne seront pas perturbés par votre **éolienne**. Une grande **éolienne** est d'ailleurs classée comme ICPE (installation classée pour la protection de l'environnement). Il faut alors obtenir un permis pour l'exploiter.

Par ailleurs, vous devez faire réaliser une étude de vent afin de déterminer si votre terrain est suffisamment exposé pour faire tourner les pales. Le ressenti n'est pas suffisant. Avant de commander une étude, Météo France peut fournir les informations nécessaires, pour avoir une première idée de l'exposition de votre terrain.

### **8.2) Prix de la pose d'une éolienne : l'étude de vent en amont**

Une éolienne fonctionne avec un vent soufflant entre 10 et 90 km heure. Au-delà de cette vitesse, la sécurité de l'engin éolien n'est plus assurée. Il est important de vérifier que le terrain d'implantation de l'éolienne est propice à son fonctionnement. Cette vérification se fait dans le cadre d'une étude vent.

Le prix d'une étude vent dépend de la hauteur de la future construction mais également de sa durée. Ainsi, elle coûte 600 euros HT, pour un mois d'étude simple à 12 mètres et 5 000 euros HT, pour 3 mois d'étude à 30 mètres. Cette somme est parfois remboursée par l'installateur, en cas de commande. Vous pouvez négocier une telle clause avant la signature du contrat "étude de vent », afin de faire des économies.

### **8.3) Prix de la pose d'une éolienne : grand éolien**

Le grand éolien ou éolien industriel est constitué d'éoliennes dont la hauteur peut atteindre 150 mètres. Leur ancrage au sol se fait à l'aide d'un socle en béton de 15 à 20 mètres. Les grandes éoliennes sont le plus souvent installées par parc entier sur terre et plus rarement offshore (en mer). L'électricité produite est toujours destinée à la revente. Il s'agit donc d'un investissement. Selon l'ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie), le grand éolien coûte de **1 300 à 1 500 euros** par kW à l'installation. À ce prix s'ajoutent les frais d'exploitation annuels d'environ 2 à 3 % du coût de l'investissement initial.

#### **8.4) Prix de la pose d'une éolienne : petite éolien**

Le **petit éolien ou éolien domestique** est un moyen de produire individuellement son électricité. Les aérogénérateurs utilisés sont de petites et moyennes puissances, c'est-à-dire ayant une puissance comprise entre 0,1 et 20 kW. Leur mât ne dépasse pas 30 mètres. Ces éoliennes fonctionnent aussi bien sur un axe horizontal que sur un axe vertical.

Selon l'ADEME, le prix d'installation du petit éolien est compris entre **2 500 et 9 000 euros** par kW installé. Le coût exact dépend du type d'éolienne installé, de son support et de sa puissance. Les installateurs d'éoliennes fixent leur tarif librement. Il est donc conseillé de demander plusieurs devis afin de comparer les prix.

#### **8.5) tarif d'achat de l'électricité**

EDF et les entreprises locales de distribution ont l'obligation d'acheter l'électricité produite à l'aide d'une énergie renouvelable. Le tarif d'achat est réglementé. Pour les éoliennes, l'obligation ne vaut que si vous vous trouvez en Zone de Développement Éolien (ZDE). Les tarifs de rachat de l'électricité éolienne sont actuellement fixés par un arrêté du 17 juin 2014. Pour les petits producteurs, le tarif garanti pendant 10 ans est fixé à 0,082 euros/kWh HT, en métropole. Pendant les 5 années suivantes, le tarif de rachat va osciller entre 0,028 euros/kWh et 0,082 euros/kWh, selon la durée annuelle de fonctionnement de l'installation éolienne. Pour bénéficier de ces dispositions favorables, un contrat de vente doit être établi entre le distributeur d'énergie et vous-même.

Si le terrain n'est pas dans une ZDE, vous pourrez tenter de vendre votre électricité mais le distributeur d'énergie n'est pas obligé de l'accepter et est libre de fixer son tarif. Si vous ne pouvez pas vendre votre électricité, vous allez devoir faire l'acquisition de batteries.

#### **8.5) aides et financement**

L'installation d'une éolienne domestique ne donne plus droit à un crédit d'impôt. Avant le 1er janvier 2016, ce crédit était égal à 30 %. En revanche, le taux intermédiaire de TVA de 10 % s'applique si l'éolienne est installée à côté d'une résidence principale ou d'une résidence secondaire construite depuis plus de deux ans. Ce taux s'applique sur la main d'œuvre et sur l'ensemble du matériel.

Par ailleurs, plusieurs aides permettent d'alléger la facture d'installation de la petite éolienne. L'ADEME, le FACE (Fonds d'Amortissement des Charges D'Électrification) et votre commune sont susceptibles de vous verser des subventions. L'idéal est de contacter chacun de ces organismes et votre collectivité locale avant le début des travaux, pour connaître les modalités d'attribution.

## **9) Les couts d'installation d'une éolienne :**

Les coûts d'installation comprennent les fondations (en béton armé, le plus souvent) la construction de voies (nécessaires pour transporter la génératrice et les sections de la tour au site), le transformateur (nécessaire pour convertir le courant à basse tension produit par l'éolienne en courant à haute tension correspondant à celui du réseau électrique local (10-30 kV)), la liaison téléphonique permettant de contrôler et surveiller l'éolienne à distance, ainsi que les coûts du câblage (pose du câble reliant l'éolienne au réseau électrique).

### **a) Les coûts d'installation sont variables.**

Il est évident que les coûts de la construction de voies et de fondations dépendent de la constitution du sol (dictant entre autres les mesures nécessaires à prendre pour construire un chemin capable de supporter un camion de 30 tonnes). D'autres facteurs variables sont la distance à la route ordinaire la plus proche, les coûts de transport au site d'une grue mobile, et la distance à une ligne à haute tension capable de manier la production maximale d'énergie de l'éolienne.

La ligne téléphonique et le contrôle à distance ne sont pas indispensables, mais ils coûtent tous deux relativement peu chers ce qui fait que cela s'avérera souvent économique de les inclure dans l'installation de l'éolienne.

Les frais de transport de l'éolienne sont parfois compris dans le calcul des coûts d'installation, mais ils n'excèdent normalement pas environ 15.000 EUR/USD.

### **b) Economies d'échelle**

Il revient évidemment moins cher de connecter au réseau plusieurs éoliennes situées sur le même site, qu'une seule. En revanche, il y a certaines limites à la quantité de puissance électrique que le réseau électrique local peut accepter. Si le réseau local est trop faible pour manier la production d'électricité de l'éolienne, il faudra éventuellement le renforcer en faisant une extension du réseau électrique à haute tension. La question de savoir si c'est la compagnie d'électricité ou le propriétaire de l'éolienne qui doit supporter les frais du renforcement du réseau diffère d'un pays à l'autre.

## **10) Les couts de maintenance et d'entretien :**

L'expérience a démontré que les coûts d'entretien sont en général peu élevés lorsque l'éolienne est toute neuve, alors qu'ils tendent à augmenter au fur et à mesure qu'elle prend de l'âge.

L'inspection des 6.000 éoliennes installées au Danemark depuis 1975 a révélé que les coûts de réparation et d'entretien des nouvelles générations d'éoliennes sont relativement peu élevés par rapport à ceux des générations plus anciennes. (L'étude compare des éoliennes de même âge, mais appartenant à différentes générations.)

Les coûts annuels d'entretien des éoliennes danoises les plus anciennes (25 à 150 kW) s'élèvent à environ 3 % du prix initial de l'éolienne. La taille moyenne des éoliennes modernes est sensiblement plus grande ce qui tend à baisser les coûts d'entretien par kW de puissance installée (vu que la fréquence d'entretien n'est pas plus grande pour une grande éolienne moderne que pour une petite). Pour les nouvelles éoliennes, les coûts annuels de maintenance se situent donc plutôt autour de 1,5 à 2 % de l'investissement initial.

La plus grande partie des coûts d'entretien est constituée d'un montant fixe par an couvrant le service régulier de l'éolienne, mais il y en a qui préfèrent calculer avec un montant fixe par kWh de production électrique, normalement environ 0,01 EUR/USD par kWh. Le raisonnement derrière cette dernière méthode est que l'usure et la fatigue de l'éolienne tend à s'accroître avec l'augmentation de la production d'électricité.

## **11) Avantages et désavantages de l'énergie éolienne**

La croissance de l'énergie éolienne est évidemment liée aux avantages de l'utilisation de ce type d'énergie. Cette source d'énergie a également des désavantages qu'il faut étudier, afin que ceux-ci ne deviennent pas un frein à son développement

### **▪ Avantages :**

- L'énergie éolienne est avant tout une énergie qui respecte l'environnement.
- L'énergie éolienne est une énergie renouvelable, c'est-à-dire que contrairement aux énergies fossiles.
- L'énergie éolienne n'est plus non plus une énergie à risque comme l'est l'énergie nucléaire et ne produit évidemment pas de déchets radioactifs donc on connaît la durée de vie.
- L'exploitation de l'énergie éolienne n'est pas un procédé continu puisque les éoliennes en fonctionnement peuvent facilement être arrêtées.
- Les parcs éoliens se démontent facilement

Les parcs éoliens se démontent facilement. L'énergie éolienne a d'autre part des atouts économiques certains :

- C'est une source d'énergie locale qui répond aux besoins locaux en énergie, C'est l'énergie la moins chère entre les énergies renouvelables.
- Cette source d'énergie est également très intéressante pour les pays en voie de développement. Elle répond au besoin urgent d'énergie qu'ont ces pays pour se développer.
- L'installation d'un parc ou d'une turbine éolienne est relativement simple.

- Le coût d'investissement nécessaire est faible par rapport à des énergies plus traditionnelles.
- Enfin, ce type d'énergie est facilement intégré dans un système électrique existant déjà.
- L'énergie éolienne crée plus d'emplois par unité d'électricité produite que n'importe quelles sources d'énergie traditionnelle.

#### ▪ Inconvénients

Même s'ils ne sont pas nombreux, l'éolien a des certains inconvénients :

- L'impact visuel. ça reste néanmoins un thème subjectif.
- Le bruit : le bruit mécanique qui a pratiquement disparu grâce aux progrès réalisés au niveau du multiplicateur. Le bruit aérodynamique quant à lui est lié à la vitesse de rotation du rotor, et celle-ci évitent les aérogénérateurs.
- La qualité de la puissance électrique : La source d'énergie éolienne étant stochastiques, la puissance électrique produite par les aérogénérateurs n'est pas constante. La qualité de la puissance produite n'est donc pas toujours très bonne.



## ➤ Sources et Bibliographie :

- [POLYCOPIE-BENAMARA.pdf](#)
- <http://xn--drmstre-64ad.dk/wpcontent/wind/miller/windpower%20web/fr/tour/econ/oandm.htm>
- <https://eolmienne.com/eolienne-horizontale-vs-eolienne-verticale/>
- [file:///C:/Users/Client/Downloads/p14\\_f5\\_2011.pdf](file:///C:/Users/Client/Downloads/p14_f5_2011.pdf)
- <https://eolienneshop.com/blogs/blog-eolienne/choisir-une-eolienne-verticale-ou-horizontale>
- [file:///C:/Users/Client/Downloads/p14\\_f5\\_2011.pdf](file:///C:/Users/Client/Downloads/p14_f5_2011.pdf)
- <https://www.travaux.com/energie-renouvelable-diagnostic/guide-des-prix/prix-pose-eolienne>
- <https://www.edf.fr/groupe-edf/espaces-dedies/l-energie-de-a-a-z/tout-sur-l-energie/produire-de-l-electricite/qu-est-ce-que-l-energie-eolienne>
- <https://eduscol.education.fr/sti/sites/eduscol.education.fr/sti/files/ressources/pedagogiques/5660/5660-3-aerogenerateur-presentation.pdf>
- <https://fee.asso.fr/comprendre-leolien/principes-et-fonctionnement/>
- <https://www.ifpenergiesnouvelles.fr/enjeux-et-prospective/decryptages/energies-renouvelables/energie-eolienne-transformer-vent-en-electricite>

