

## Chapitre 3 : L'énergie éolienne

### Définition de l'énergie éolienne

L'éolienne est un dispositif destiné à convertir l'énergie cinétique du vent en énergie Mécanique, elles sont généralement utilisées pour produire l'électricité. Elles sont montées aux sommets de mâts afin de bénéficier d'un maximum de puissance. A 30 mètres du sol ou plus au-dessus du sol, elles bénéficient d'une plus grande vitesse de vent, et évitent ainsi les turbulences aérodynamiques qui se trouvent proches du sol. Les éoliennes captent l'énergie du vent par leurs pales en forme d'hélices. Le plus souvent 2 ou 3 pales sont montées sur un axe pour constituer un rotor.

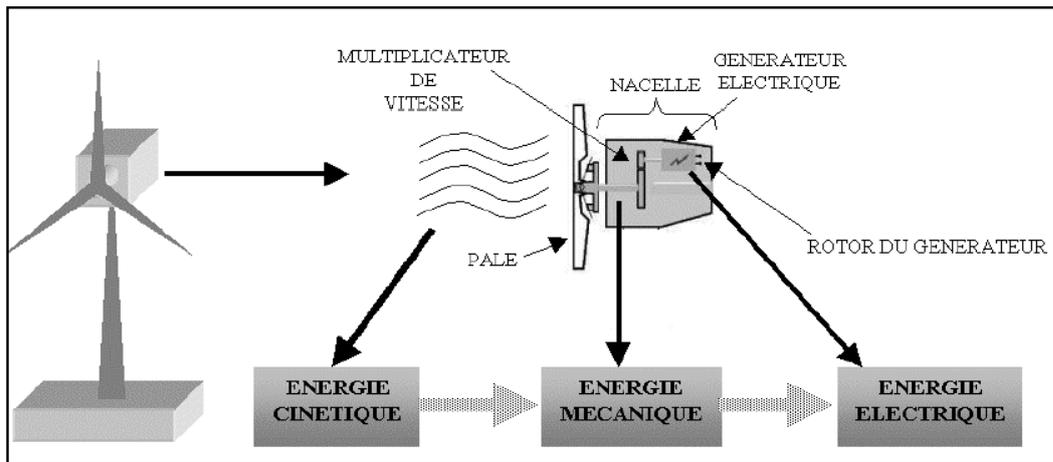


Figure 1: Conversion de l'énergie cinétique du vent

### Gisements éolien

Considérée comme une énergie propre, l'énergie éolienne connaît un essor important. Parmi les énergies renouvelables, elle est considérée comme une technologie mature et la plus économique après l'hydroélectricité.

Au niveau mondial, le potentiel énergétique de l'éolien, aussi bien terrestre qu'offshore, a été estimé en 2003 à 278.000 TWh par an par le *German Advisory Council on Global Change* (WBGU). Cependant, seuls 10 à 15% sont exploitables de manière durable, ce qui représente à peu près 39.000 TWh par an, soit plus du double de la consommation mondiale annuelle d'électricité (17.000 TWh en 2006). D'après le GWEC (Global Wind Energy Council, la capacité installée du parc éolien mondial a plus que doublé entre fin 2010 et fin 2015. A cette date, elle atteint près de 432,4 GW. Malgré cette croissance, sa part dans la production d'électricité mondiale totale reste limitée à environ 3%.

En ce qui concerne l'Algérie, la ressource éolienne varie beaucoup d'un endroit à un autre. Ceci est principalement dû à une topographie et climat très diversifié. En effet, notre vaste pays se subdivise en deux grands zones géographiques distinctes. Le nord méditerranéen est caractérisé par un littoral de 1200Km et un relief montagneux. Entre elles, s'intercalent des plaines et les hauts plateaux de climat continental. Le sud, quant à lui, se caractérise par un climat saharien. Le sud algérien est caractérisé par des vitesses plus élevées que le nord, plus particulièrement le sud ouest avec des vitesses supérieures à 4m/s et qui dépassent la valeur de 6m/s dans la région d'Adrar. Concernant le nord, on remarque globalement que la vitesse moyenne est peut élevée. On note cependant, l'existence de microclimats sur les sites côtiers de Oran, Bejaia et Annaba, sur les hauts plateaux de Tiaret et El Kheiter ainsi que dans la région délimitée par Bejaia au nord et Biskra au sud.

Les vitesses moyennes annuelles obtenues varient de 2 à 6.5 m/s. En fait, la région centrale de l'Algérie est caractérisée par des vitesses de vent variant de 3 à 4 m/s, et augmente au fur et à mesure que l'on descend vers le sud-ouest. Le maximum est obtenu pour la région d'Adrar avec une valeur moyenne de 6.5 m/s. Cependant, nous pouvons observer l'existence de plusieurs microclimats où la vitesse excède les 5 m/s comme dans les régions de Tiaret, Tindouf et Oran.

### Les modes d'exploitation de l'énergie éolienne

Les éoliennes terrestres dites « onshore » sont installées sur la terre.

Les éoliennes dites « offshore » sont installées en mer.

On distingue par ailleurs deux typologies d'installations :

Industrielles : les grands parcs éoliens (ou « fermes éoliennes ») raccordés au réseau électrique ;

Domestiques : des petites éoliennes installées chez les particuliers

### Les différents types d'éoliennes :

Il existe deux sortes d'éoliennes : celles à axe vertical et celles à axe Horizontal

#### a) Les éoliennes à axe horizontal

Ce sont les machines les plus répandues actuellement du fait de :

- Leur rendement est supérieur à celui de toutes les autres machines. Elles sont appelées éoliennes à axe horizontal car l'axe de rotation du rotor est horizontal, parallèle à la direction de vent.
- Elles comportent généralement des hélices à deux ou trois pales, ou des hélices multiples pour le pompage de l'eau.
- Elles ont un rendement élevé.

Les éoliennes à axe horizontal (ou à hélice) sont de conception simple.

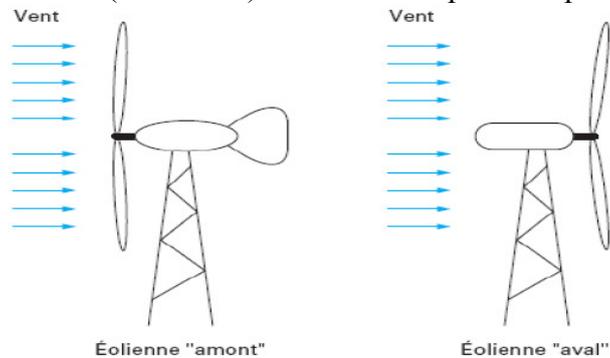


Figure 2 : Configuration à axe horizontal

L'éolienne horizontal présente les avantages et les inconvénients suivants

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>- vitesse variable + électronique de puissance, ce qui implique production surfacique (kWh/m<sup>2</sup>) plus élevé.</li> <li>- Bon rendement ;</li> <li>- De structure stable</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- système de guidage pour un fonctionnent face au vent</li> <li>- Bruyants, peu esthétiques ;</li> <li>- vitesse de rotation assez faible (~qq 10 tr/min)</li> <li>- multiplicateur lourd, encombrant, parfois bruyant pour atteindre les 1500 tr/min nécessaires pour produire un courant à 50 Hz</li> </ul>

## b) Les éoliennes à axe vertical

Pour ces capteurs, l'axe de rotation est vertical et perpendiculaire à la direction du vent, et sont les premières structures développées pour produire de l'électricité. Elles possèdent l'avantage d'avoir les organes de commande et le générateur au niveau du sol, donc elles sont facilement accessibles. Elles sont adaptées à tous les vents et ne nécessitent pas de dispositif d'orientation.

Deux d'entre elles sont particulièrement remarquables : Savonius et Darrieus.

L'éolienne Savonius comporte principalement deux demi cylindres dont les axes sont décalés l'un par rapport à l'autre. Comme les machines à aubes, elle utilise essentiellement la traînée pour tourner.

L'éolienne inventée par le Français Darrieus est un rotor dont la forme la plus courante.

Cette machine est bien adaptée à la fourniture d'électricité. Malheureusement, elle ne peut pas démarrer seule. Ce type de machine, qui peut offrir les puissances les plus fortes n'a pas connu le développement technologique qu'il méritait à cause de la fragilité du mécanisme encore mal maîtrisée.



**Figure 3 :** Eoliennes à axe vertical : rotor de Darrieus (gauche) et rotor de Savonius (droite)

L'éolienne verticale présente les avantages et les inconvénients suivants

Type Darrieus	Type Savonius
<p>Avantages :</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- pas de dispositifs d'orientation</li><li>- possibilité de placer toute la machinerie dans un local sous terre : réduction de l'encombrement et maintenance facilitée.</li></ul> <p>Inconvénients :</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- nécessité d'un dispositif de lancement moteur auxiliaire ou génératrice réversible ce qui implique un niveau de bruit supplémentaire.</li><li>- surcoût de fabrication des pales.</li></ul>	<p>Avantages :</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- peu bruyant.</li><li>- pas de dispositifs d'orientation</li><li>- possibilité de placer toute la machinerie dans un local sous terre, réduction de l'encombrement et maintenance facilitée.</li><li>- démarrage à vents faibles</li></ul> <p>Inconvénients :</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- couple non constant</li><li>- faible rendement</li><li>- masse importante de l'installation et des pâles</li></ul>

### Principe de fonctionnement de l'éolienne

Les éoliennes permettent de convertir l'énergie du vent en énergie électrique. Cette conversion se fait en deux étapes :

Au niveau de la turbine (rotor), qui extrait une partie de l'énergie cinétique du vent disponible pour la convertir en énergie mécanique, en utilisant des profils aérodynamiques. Le flux d'air crée autour du profil une poussée qui entraîne le rotor et une traînée qui constitue une force parasite. Au niveau de la génératrice, qui reçoit l'énergie mécanique et la convertit en énergie électrique, transmise ensuite au réseau électrique.

## Eléments Constitutifs D'un Aérogénérateur (A Axe HORIZONTAL)

L'aérogénérateur utilise l'énergie cinétique du vent pour entraîner l'arbre de son rotor : cette énergie cinétique est convertie en énergie mécanique qui est elle-même transformée en énergie électrique par une génératrice électromagnétique solidaire au rotor. L'électricité peut être envoyée dans le réseau de distribution, stockée dans des accumulateurs ou utilisée par des charges isolées.

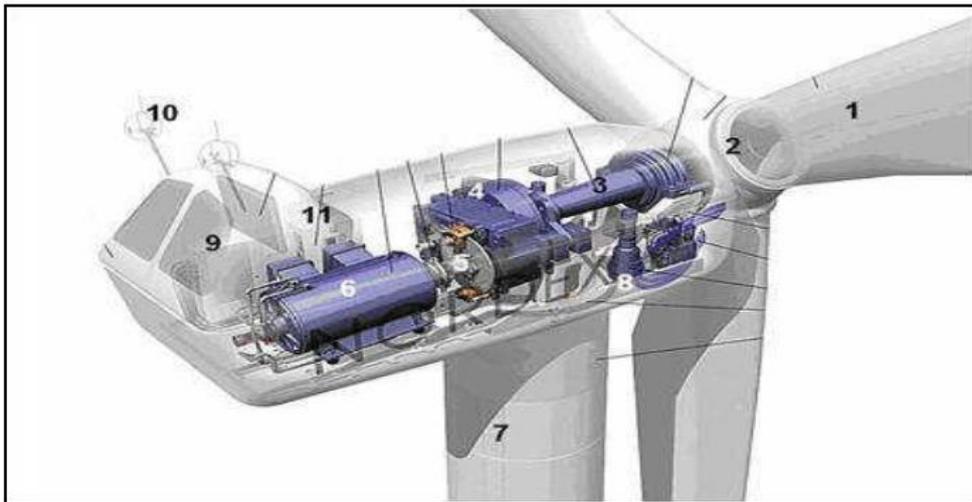


Figure 4 : Les Composante de L'aérogénérateur

- 1. Les pales** : sont les capteurs de l'énergie cinétique qui transmettent l'énergie au rotor
- 2. Le moyeu** : il est pourvu d'un système qui permet d'orienter les pales pour réguler la vitesse de rotation.
- 3. L'arbre primaire** (ou arbre lent) : relie les pales au multiplicateur.
- 4. Le multiplicateur** : il permet de réduire le couple et d'augmenter la vitesse. C'est l'intermédiaire entre l'arbre primaire et l'arbre secondaire.
- 5. L'arbre secondaire** : il amène l'énergie mécanique à la génératrice. Il est équipé d'un frein à disque mécanique qui limite la vitesse de l'arbre en cas de vents violents.
- 6. Le générateur électrique** : il assure la production électrique. Sa puissance peut atteindre jusqu'à 5 MW. Il peut-être une dynamo (produit du courant continu) ou un alternateur (produit du courant alternatif). L'alternateur est le plus utilisé pour des raisons de coût et de rendement.
- 7. Le mât** : c'est un tube en acier, pilier de toute l'infrastructure. Sa hauteur est importante : plus elle augmente, plus la vitesse du vent augmente mais en même temps le coût de la structure augmente. En général, le mat a une taille légèrement supérieure au diamètre des pales.
- 8. Le système d'orientation de la nacelle** : c'est une couronne dentée équipée d'un moteur qui permet d'orienter l'éolienne et de la verrouiller dans l'axe du vent grâce à un frein.
- 9. Le système de refroidissement** : il est à air, à eau ou à huile et destiné au multiplicateur et à la génératrice.
- 10. Les outils de mesure du vent** : girouette pour la direction et anémomètres pour la vitesse. Les données sont transmises à l'informatique de commande.
- 11. Le système de contrôle électronique** : il gère le fonctionnement général de l'éolienne et de son mécanisme d'orientation.
- 12.** Au pied du mât se trouve un transformateur.

## **L'éolien offshore**

Le « offshore » consiste à implanter les aérogénérateurs en mer, à proximité des côtes. Ainsi, l'impact sur le paysage est modéré et il n'y a plus de nuisance sonore. Cependant, l'installation d'éoliennes en mer est beaucoup plus coûteuse qu'à terre : les mâts doivent être étudiés pour résister à la force des vagues et du courant, la protection contre la corrosion (particulièrement importante du fait des embruns) doit être renforcée, l'implantation en mer nécessite des engins spécialisés, le raccordement électrique implique des câbles sous-marins coûteux et fragiles, et la moindre opération de maintenance peut nécessiter de gros moyens. En revanche, les éoliennes « offshore » bénéficient d'un vent plus fort et plus régulier. Leur puissance nominale est donc plus importante ainsi que leurs rendements.

Les caractéristiques de l'éolien « offshore » :

- Puissance : peut dépasser 5 MW
- Dimensions :
  - Les pales : jusqu'à 115m de diamètre
  - Le mât : jusqu'à 120m de hauteur

Le plus grand parc offshore du monde actuellement :

- Parc de London Array (RU) : 175 éoliennes de 3,6 MW (Siemens)



**Figure 5** : Un parc offshore d'éoliennes

## **L'utilisation des éoliennes**

Au-delà de la donnée économique et environnementale, l'énergie éolienne suscite un intérêt particulier car elle peut contribuer à la diversification des mix électriques et à l'indépendance énergétique des pays. Cette source d'énergie se trouve ainsi souvent au cœur des stratégies de développement de nouvelles capacités électriques malgré les limites qu'elle peut présenter : son caractère aléatoire, son rendement et son intrusion dans les paysages naturels pouvant être mal acceptée.