

Chapitre 2

L'énergie Eolienne

Introduction

Les éoliennes utilisent la force du vent pour produire de 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. Il existe de manière générale deux sortes d'éolienne, à axe vertical et à axe horizontal.

1. Eolienne à axe horizontal

L'architecture de ce type d'éolienne est précisée dans la figure 1, elle est constituée des éléments suivants :

- Le Rotor

Le rotor est en fait l'élément qui capte l'énergie cinétique du vent. Celui-ci est formé de pales (en général 3 pour des raisons aérodynamiques) et de l'arbre principal solidaires au moyen d'un moyeu central. En général, l'ensemble tourne entre 10 et 60 tours par minute.

- La Nacelle

Son rôle est d'abriter l'installation de génération de l'énergie électrique ainsi que ses périphériques. Elle est solidaire de la tour au moyen d'un pivot appelé pivot d'orientation.

- La Tour

Son rôle est d'une part de supporter l'ensemble rotor + nacelle pour éviter que les pales touchent le sol, mais aussi de placer le rotor à une hauteur suffisante pour avoir un rendement maximum par rapport au vent (il faut en effet essayer de s'affranchir le plus possible du gradient de vitesse qui est très fort près du sol).

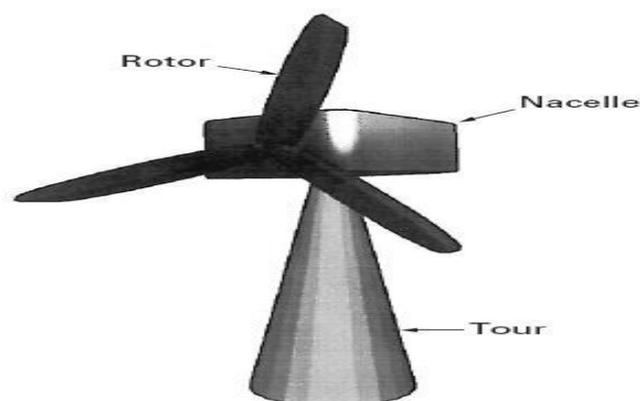


Figure 1 : Description généralisée d'une éolienne à axe horizontal

1.1. Principe de fonctionnement de l'éolienne

Une pale d'éolienne se comporte dans l'air comme une aile d'avion. Lorsque le vent souffle, une dépression d'air se forme le long du « dos » de la pale, de son côté « sous le vent ». Cette dépression aspire alors la pale dans sa direction, ce qui provoque la rotation de l'ensemble rotor. Ce phénomène d'aspiration se nomme « la portance ». La force de portance est en fait bien plus importante que la force dynamique du vent sur la face avant des pales, qui se nomme « la traînée ». La combinaison de la portance et de la traînée provoque la giration du rotor, entraînant à son tour la génératrice d'électricité montée sur le même axe. Une description plus complète du cœur de la nacelle est donnée dans la figure 2.

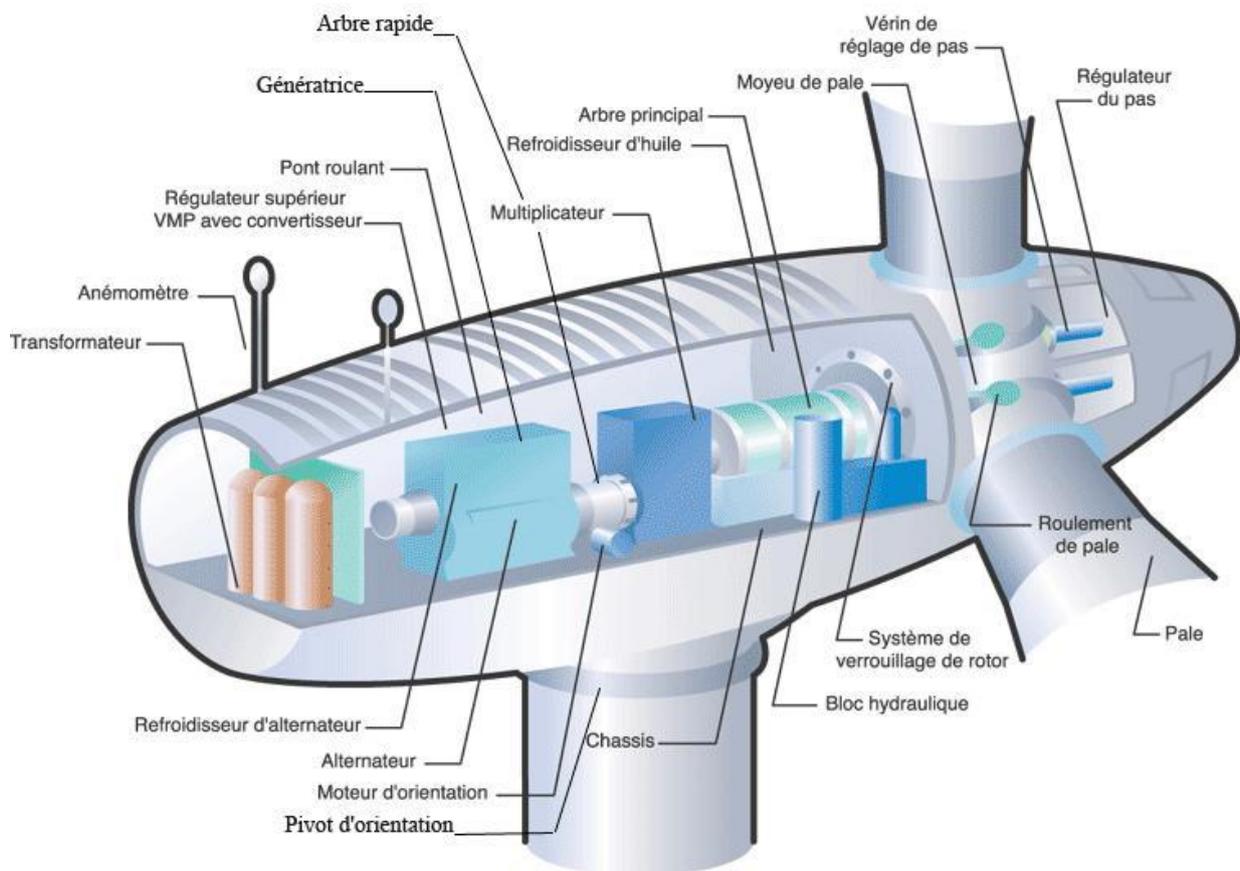


Figure 2 : Description complète de la nacelle d'une éolienne à axe horizontal

Les éléments de la figure 2 sont décrits comme suit :

- Régulateur du pas

Celui-ci permet à l'hélice d'avoir une fréquence de rotation stable à partir d'une certaine vitesse du vent (en général à partir de 3m/s).

- La girouette et l'anémomètre

Ces deux instruments sont en fait des capteurs qui permettent de connaître respectivement l'orientation du vent et sa vitesse. Ils sont placés derrière les pales. Ils prennent les mesures entre deux passages de pales et établissent une moyenne. En fonction de la vitesse et la direction du vent, le pivot d'orientation est mis en fonctionnement à l'aide d'un moteur électrique afin de présenter l'hélice face au vent pour avoir un rendement maximal.

- Système de verrouillage du rotor

Système de sécurité qui permet d'activer des freins si la vitesse du vent est supérieure à 90km/h (25m/s) et qui empêche donc le rotor de tourner.

- Le multiplicateur

Permet de transformer la rotation lente de l'arbre principal en une rotation plus rapide grâce à un système d'engrenages. La vitesse de rotation passe ainsi de 60 tours/minute à environ 1500 tours/minute.

- La génératrice

La génératrice est l'élément clé qui permet de transformer l'énergie mécanique de rotation issue de l'arbre rapide en énergie électrique. Il existe ainsi deux (02) types de générateurs :

☞ Les génératrices synchrones ou alternateurs

Ces génératrices tournent à une vitesse variable en fonction de la vitesse du vent. Ceci produit du courant à voltage et fréquence variable. Ce " mauvais " courant alternatif car irrégulier doit être redressé en courant continu qui doit être encore transformé en courant alternatif de voltage et de fréquence constants par un onduleur. Cette technique de vitesse variable est utilisée par les propriétaires d'éoliennes domestiques qui ne sont pas raccordées au réseau électrique pour une utilisation le plus souvent directe. Mais elle est aussi de plus en plus courante dans les parcs éoliens car les appareils de transformation de courant sont de moins en moins coûteux.

☞ Les génératrices asynchrones

Elles produisent grâce à un champ magnétique du courant directement utilisable, c'est à dire à fréquence constante. Ces génératrices sont utilisées sur des éoliennes reliées directement au réseau de distribution électrique.

- Dispositif de stockage de l'énergie

Il arrive souvent que les éoliennes ne soient pas reliées au réseau électrique et l'énergie produite doit être stockée. Celle-ci est le plus souvent stockée au moyen de batteries le plus souvent au plomb car peu coûteuses. Ce dispositif de batterie impose aussi un dispositif de contrôle car les batteries sont bien souvent très sensibles aux surcharges. Il faut donc un système qui puisse faire fonctionner plusieurs batteries selon qu'elles soient chargées ou non.

- Dispositif de commande automatisée

L'ensemble des capteurs présents dans l'éolienne (girouette, anémomètre, système de régulation des pâles...) renvoient les informations à un ordinateur se trouvant à la base de la tour qui lui permettent de commander l'ensemble des moteurs et organes de l'éolienne.

1.2. Notions de calculs sur les éoliennes

- ☞ Puissance récupérable par les pâles

En théorie la puissance récupérable par les pâles est telle que :

$$P = \frac{1}{2} \cdot (v \cdot S \cdot \rho) \cdot v^2 \quad (1)$$

P : puissance théorique récupérable en watts

v : vitesse moyenne du vent en m/s

S : surface balayée par les pâles

ρ : masse volumique de l'air en kg/m³

Mais si toute cette énergie était captée, il n'y aurait plus de vent derrière les pales de l'hélice, ce qui n'est jamais le cas. Betz, un scientifique allemand, a montré dans son livre Wind-Energie de 1926 que le maximum d'énergie récupérable est égal à 16/27 de la puissance théoriquement récupérable, c'est-à-dire environ 59%. On arrive à ce coefficient de puissance maximal quand la vitesse du vent en aval des pâles de l'éolienne est égale au tiers de la vitesse du vent en amont. Ainsi pour les meilleures éoliennes :

$$P_{réel} = 0,59 \cdot P \quad (2)$$

- ☞ Puissance en sortie de l'éolienne

La puissance en sortie de l'éolienne dépend principalement de l'énergie récupérable par les pâles, et des rendements du multiplicateur (environ 0,95), de la génératrice (environ 0,8) et des batteries (environ 0,8) de l'éolienne. Ainsi, la puissance en sortie est :

$$P_{sortie} = 0,95 \cdot 0,8 \cdot 0,8 \cdot 0,59 \cdot P \quad (3)$$

En général, on ne récupère que 30 à 40% de l'énergie fournie par le vent.

La puissance d'une éolienne est aussi en fonction de la hauteur du mât, la figure 3 donne un aperçu sur l'évolution de la puissance d'une éolienne en fonction de sa hauteur et du diamètre balayé.

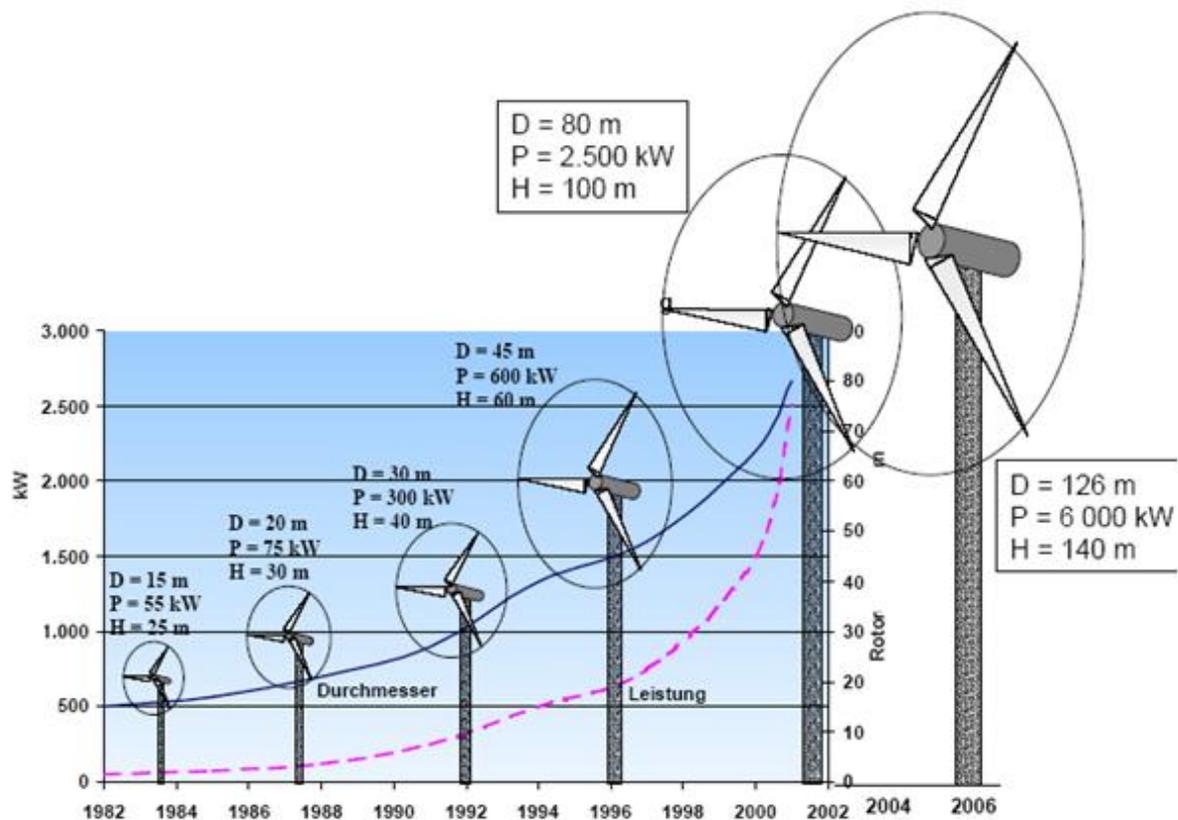


Figure 3 : Tailles des éoliennes déjà installées jusqu'en 2006

1.3. Le vent, un acteur majeur pour l'éolienne

Le vent est la principale source énergétique de l'éolienne, encore faut-il bien savoir l'exploiter. Une explication brève mais efficace va ici nous permettre de mieux comprendre comment placer et où placer les éoliennes pour avoir un rendement maximal et obtenir le plus d'électricité possible. Le vent est un sous-produit de l'énergie primaire provenant du soleil.

La terre et son atmosphère constituent une vaste machine thermique dont la source chaude, constamment variable, est l'hémisphère irradié par le soleil, et la source froide, également variable, l'hémisphère obscur. Le fluide de travail, l'air, passe chaque jour de l'un à l'autre. Ce cycle produit une énergie mécanique qui est l'énergie cinétique de l'air ou vent. Par suite du faible écart de température, de l'ordre d'une dizaine de degrés, le rendement est peu élevé. Néanmoins, étant donné la quantité de chaleur, l'énergie éolienne, pour l'ensemble du globe, est considérable. Toutefois, une petite partie seulement est vraiment récupérable.

La puissance du vent est sensiblement constante à chaque instant pour l'ensemble du globe, en un lieu donné et sur une période solaire, mais elle varie considérablement en tout lieu et suivant les jours. La vitesse du vent est donc très variable.

Il existe donc une Echelle appelée Echelle de beaufort qui permet de classer les vents en fonction de leur vitesse moyenne dans 12 catégories différentes.

Tableau 1 : Echelle de Beaufort pour la classification des vents

Echelle en degrés beaufort	Nature du vent	Vitesse du vent (moyenne) en m/s
1	Vent insensible et très faible	1
2	Brise infime	2
	Brise légère (les moulins démarrent)	3
3	Vent modéré (frais)	4
4	Vent léger	6
	Brise moyenne (bon frais)	7
5	Forte brise	8
	Grand frais	9
	Très forte brise	10
6	Vent fort	12
7	Vent très fort	15
8	Vent impétueux	20
9	Fort coup de vent	22
10	Tempête violente 1	24
11	Tempête violente 2	30
12	Ouragan	36
	Grand ouragan	46

En plus des différents effets du vent rencontrés en un même lieu, le vent peut avoir de grandes irrégularités à la fois temporelles mais aussi spatiales.

1.4. Irrégularités du vent

☞ Irrégularités spatiales :

En général on peut dire que le vent est le plus faible aux pôles et dans la zone intertropicale et qu'il est maximal vers +/- 55° et qu'il est fort en mer (environ 1 à 2 m/s de plus qu'à l'intérieur des terres). En fait, il se trouve que la vitesse du vent est une fonction croissante avec la hauteur au-dessus du sol et avec l'altitude (par rapport au niveau de la mer). De plus, la loi de répartition de la vitesse suivant une verticale dépend, d'une part, du relief local et, d'autre part, de la rugosité de la région. Ainsi il s'avère par exemple, qu'à même altitude, la vitesse du vent sera plus forte sur une colline que dans une plaine si la rugosité du milieu est identique dans les 2 cas.

☞ Irrégularités temporelles :

En général, Les irrégularités sont maximales à l'échelle du mois. En moyenne, le vent est le plus fort en janvier et le plus faible en juillet.

- ☞ Choisir l'emplacement d'exploitation de l'éolienne en fonction du vent

D'après ce qui a été dit auparavant, on peut maintenant connaître les endroits de placement des éoliennes pour avoir un rendement maximal. Il apparaît tout de suite que les endroits les plus propices sont le **bord de mer**, le **large des côtes** (éoliennes dites offshore), le sommet **des collines** et des **montagnes** dans le cas d'un environnement bien dégagé et peu rugueux. Mais après avoir choisi le site futur d'exploitation, il faut aussi se poser la question du type de vent existant à cet endroit. En effet, un site montrant de fortes variations temporelles (type mistral) sera beaucoup moins bon qu'un site présentant un vent régulier type alizés, ayant une vitesse moyenne de 6 à 8 m/s, voire jusqu'à 10 m/s.

2. Les principaux intérêts de l'utilisation des éoliennes

- ☞ Sur le plan de l'environnement

Il est clair que l'utilisation du vent pour générer de l'énergie soit bénéfique pour l'environnement. En effet, les éoliennes produisent de l'électricité sans émission de polluants atmosphériques ou de gaz à effet de serre. A l'inverse, les sources d'énergies fossiles rejettent beaucoup de gaz à effets de serre. Tableau comparatif des émissions de gaz carbonique pour la production d'un kilowattheure pour différentes sources d'énergie (source : Mission Interministérielle française de l'Effet de Serre) :

Tableau 2 : Comparaison des rejets de CO₂ pour différentes sources d'énergies

Sources d'énergie	Rejet de CO ₂ en grammes pour la production d'un kWh
Centrale à gaz	470
Centrale à charbon	950
Centrale au fioul	800
Centrale nucléaire	Proche de 0
Ferme éolienne	0

A noter que les centrales nucléaires, comme l'énergie éolienne, ne rejettent quasiment pas de gaz à effets de serre mais elles imposent beaucoup de rejets thermiques, chimiques et parfois radioactifs. Ainsi face à toutes les énergies conventionnelles, l'énergie éolienne apparaît être la moins polluante.

- ☞ Sur le plan sonore

Malgré les idées reçues par les opposants à l'énergie éolienne, cette énergie ne produit pas une très grande pollution sonore. L'énergie éolienne s'est en effet d'abord développée dans des pays aux densités de population élevées (Danemark, Allemagne par exemple).

Les fabricants d'éoliennes ont ainsi dû développer des machines les moins bruyantes possibles, voir figure 4

Ainsi aujourd'hui une grande éolienne ne produit que 40 à 50 décibels ce qui est assez faible par rapport par exemple à un environnement urbain qui se trouve aux alentours des 100 dB.

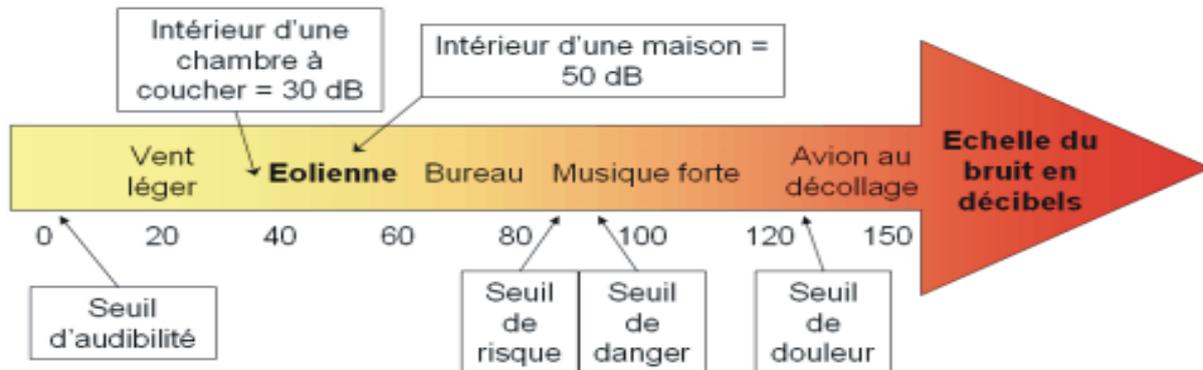


Figure 4 : Echelle du bruit en décibels

De plus, contrairement à d'autres équipements, les éoliennes sont des sources énergies intermittentes, celles-ci ne font du bruit et produisent de l'énergie seulement quand le vent est assez fort. Ainsi il apparaît que les 50 dB d'une grande éolienne apparaissent avec un vent supérieur à 15 m/s, ce qui est largement au dessus de la vitesse moyenne du vent sur un parc éolien qui est de 7 m/s. Ainsi, Dans la pratique, un éloignement de 200 mètres de tout riverain permet de s'affranchir de toute nuisance résiduelle.

☞ Impacts sur l'avifaune :

L'impact des parcs éoliens sur les oiseaux est très variable. Il dépend bien sûr de l'emplacement du parc. Mais une étude réalisée par des scientifiques français montre qu'en général les oiseaux intègrent bien l'existence des éoliennes dans leur habitat. De plus, de nos jours une meilleure connaissance des voies migratoires des oiseaux a permis de réduire le nombre des collisions à un niveau nettement inférieur en comparaison d'autres causes de décès. L'Association Canadienne de l'Energie Eolienne a d'ailleurs comparé le nombre d'oiseaux morts à cause des éoliennes à d'autres infrastructures pour montrer que l'impact des éoliennes sur l'avifaune reste très minime.



Figure 4 : Causes d'accidents mortels chez les oiseaux (nombre sur 10 000 décès)