

## 1/Une éolienne , c'est quoi ?

Une **éolienne** \* est un dispositif qui "capte" l'énergie cinétique du vent ( appelée énergie éolienne ) et qui la convertit en énergie mécanique ( couple, vitesse) utilisable .

Cette énergie mécanique utilisable peut servir à entrainer une génératrice électrique , on parle alors d'**aérogénérateur** qui effectue une conversion d'énergie éolienne en énergie électrique .

### \*Eolienne :

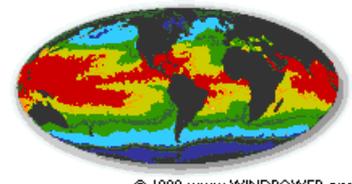
Nom qui découle du nom donné au dieu des vents dans la mythologie grecque , le dieu **Eole** .



## 2/Mais le vent, d'où vient-il ?

Le vent vient du ciel ... en fait , **plus précisément du soleil !!**

**Expliquons le principe :** Le soleil réchauffe les régions situées autour de l'équateur , bien plus qu'il ne réchauffe les autres parties du globe , les écarts de température entre les masses d'air vont générer des flux d'air , c'est le vent .



© 1998 www.WINDPOWER.org

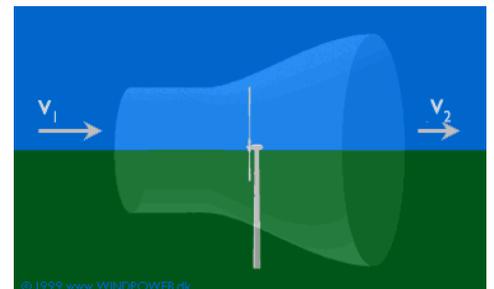
Dans l'exemple ci-dessus , il s'agit du vent atmosphérique , il existe également d'autres types de vents fonction de la climatologie propre à chaque région ( relief , mer , etc ...).

## 3/Puissance mécanique du vent ( à vitesse constante et densité constante).

L'énergie cinétique d'une masse en mouvement est donnée par la relation :  $W_c = 1/2 mV^2$

Une éolienne capte l'énergie cinétique du vent et la convertit en un couple qui fait tourner les pales du rotor. On calcule alors l'énergie cinétique du vent pour un disque de section **S (m<sup>2</sup>)** qui correspond à la surface balayée par les pâles de l'éolienne .

La masse d'air « appuyant » sur les pales de l'éolienne peut se calculer de la manière suivante: Cette masse **m** est égale au produit de la masse volumique de l'air ( **ρ**) et du volume de l'air. Le volume d'air est lui égale à la surface **S** balayée par le rotor multiplié par une grandeur homogène à une longueur : **V.t**



© 1999 www.WINDPOWER.dk

$$W_c = 1/2 (\rho \cdot S \cdot V \cdot t) \cdot V^2$$

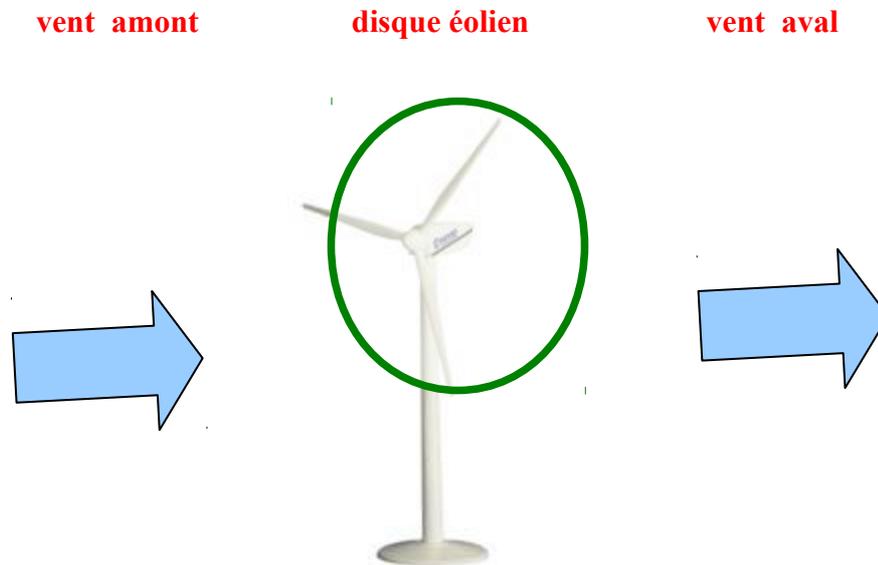
Trois facteurs déterminent le rapport entre l'énergie du vent et l'énergie mécanique récupérée par le rotor: la densité de l'air, la surface balayée par le rotor et la vitesse du vent.

On peut déduire de la relation précédente la puissance mécanique du vent à partir de la relation générale

$$W=P.t \implies P=W/t$$

$$P_{\text{mécanique vent}}=P_c = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot V^3$$

avec :  $\rho$  :masse volumique de l'air ( 1,23 kg/m<sup>3</sup> à 15°C et 1013mbar de pression ),  $V$ :vitesse du vent en m/s



#### 4/Puissance mécanique maxi récupérable .

La puissance maximale récupérable est inférieure , puisque l'air doit conserver une énergie cinétique en aval de l'éolienne , pour qu'il subsiste un écoulement

##### Le freinage idéal du vent

Plus la partie de l'énergie cinétique du vent captée par l'éolienne est grande, plus remarquable sera le ralentissement du vent sortant par le côté droite de l'éolienne sur l'image ci-dessus.

Si nous tentions d'extraire toute l'énergie contenue dans le vent, l'air continuerait son chemin à une vitesse nulle, ce qui en réalité signifierait qu'il n'arriverait pas à abandonner le rotor. Le résultat serait dans ce cas tout le contraire de ce que nous aurions cherché à obtenir : aucune énergie ne serait extraite du vent, l'entrée de l'air dans le rotor étant évidemment également empêchée.

L'autre cas extrême serait que le vent passe à travers le tube ci-dessus sans aucune perturbation, mais avec le même résultat : l'énergie extraite serait absolument nulle.

Nous pouvons donc assumer qu'il doit y avoir une manière de freiner le vent qui se trouve entre ces deux extrémités et qui permette de façon bien plus efficace de transformer l'énergie du vent en énergie mécanique.

Ainsi **Albert BETZ\*** a démontré que la puissance maximale récupérable est :

$$P_{\text{méca maxi récup}}=16/27.P_{\text{mécanique vent}}$$

Le rendement mécanique maximal théorique d'une éolienne est ainsi fixé à 16/27 , soit environ 59% .

Pour plus d'informations vous pouvez consulter ce lien: <http://www.windpower.org/fr/stat/betzpro.htm>

## 5/Puissance mécanique disponible .

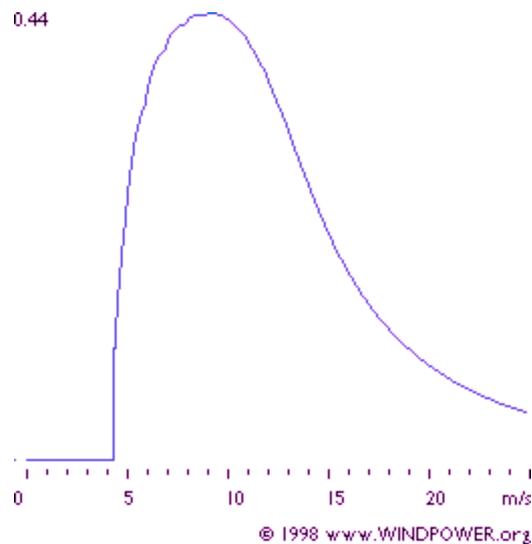
En réalité des essais en soufflerie permettent de définir pour un profil de pale considéré , un coefficient de puissance **C<sub>p</sub>** caractéristique de chaque éolienne .

Le coefficient de puissance **C<sub>p</sub>** indique l'efficacité avec laquelle l'éolienne convertit l'énergie du vent en électricité.

Ce coefficient **C<sub>p</sub>** permet de déterminer la puissance disponible sur l'arbre de l'aérogénérateur par application de la relation suivante , issue de la loi de **BETZ** :

$$P_{\text{mécanique disponible}} = \frac{1}{2} \cdot C_p \cdot \rho \cdot S \cdot V^3$$

Le coefficient **C<sub>p</sub>** ne dépasse pas la valeur de 0,55 .



\***Albert BETZ** :  
Physicien allemand

## 6/Régulation de la puissance de sortie .

Les éoliennes sont en général construites de manière à atteindre leur performance maximale à environ 15 m/s. Il est en fait inutile de concevoir des éoliennes qui maximalisent leur rendement à des vitesses de vent encore plus élevées, celles-ci étant peu fréquentes.

En cas de vitesses de vent supérieures à 15 m/s, il est nécessaire de perdre une partie de l'énergie supplémentaire contenue dans le vent afin d'éviter tout endommagement de l'éolienne. Toutes les éoliennes sont donc conçues avec un système de régulation de la puissance. Il y a plusieurs manières différentes de contrôler en toute sécurité la puissance d'une éolienne moderne. En voici 2:

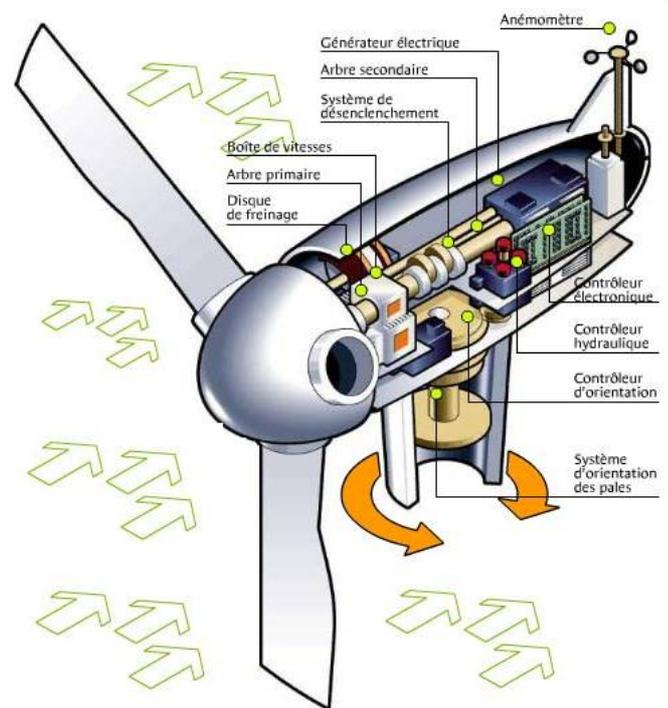
- **Contrôle à calage variable de pale ou pas variable**
- **Contrôle par décrochage aérodynamique ou pas fixe .**

## Contrôle à calage variable de pale :

Sur une éolienne contrôlée à calage variable (appelée aussi une éolienne à pas variable), le contrôleur électronique vérifie plusieurs fois par seconde la puissance de sortie de l'éolienne. En cas de puissance de sortie trop élevée, le contrôleur électronique de l'éolienne envoie une commande au dispositif de calage qui pivote immédiatement les pales légèrement sur le côté, hors du vent. Inversement, les pales seront pivotées de manière à pouvoir mieux capter de nouveau l'énergie du vent, dès que le vent aura baissé d'intensité.

Concevoir une éolienne à pas variable suppose une ingénierie très avancée afin d'assurer le positionnement exact des pales. En général, le système de régulation pivote les pales de quelques degrés à chaque variation de la vitesse du vent pour que les pales soient toujours positionnées à un angle optimal par rapport au vent, de façon à assurer le meilleur rendement possible à tout moment.

Le mécanisme de calage est normalement opéré par un système hydraulique.



## Contrôle par décrochage aérodynamique :

Sur une éolienne à contrôle par décrochage aérodynamique (appelée aussi une éolienne à pas fixe), les pales sont fixées au moyeu de façon rigide. Cependant, la géométrie de la pale a été conçue de façon à mettre à profit, en cas de vitesses de vent trop élevées, le décrochage aérodynamique en provoquant de la turbulence sur la partie de la pale qui n'est pas face au vent. Ce décrochage empêche la portance d'agir sur le rotor, lorsque la vitesse du vent augmente, l'angle d'attaque des pales augmentera également jusqu'à arriver au point de décrochage.

La régulation par décrochage aérodynamique a avant tout l'avantage d'éviter l'installation de pièces mobiles dans le rotor même, ainsi qu'un système de contrôle très complexe. L'inconvénient est qu'une telle régulation ne pose pas seulement de grands défis à la conception aérodynamique des pales, mais également à la conception de l'éolienne entière afin d'éviter l'apparition de vibrations par le décrochage.



© 1998 [www.WINDPOWER.dk](http://www.WINDPOWER.dk)