

## Connaissances de base Turbines éoliennes

Les turbines éoliennes font partie des turbomachines motrices. La turbine est une partie de l'installation dans laquelle l'énergie cinétique du vent est transformée en énergie mécanique par un rotor. L'énergie mécanique entraîne un générateur qui produit alors de l'électricité. La transmission de l'énergie du vent sur le rotor est assurée par les forces aérodynamiques s'exerçant sur les pales. À la différence p. ex. des turbines hydrauliques, la turbine éolienne ne dispose pas de distributeur qui accélère l'écoulement d'air et assure un écoulement incident optimal sur le rotor.

Les pales d'une turbine éolienne ressemblent beaucoup aux voilures des avions. Le succès de la turbine éolienne a donc été largement conditionné par le développement de profils aérodynamiques à faible résistance pour les avions.

### Dimensionnement d'une turbine éolienne

Pour dimensionner une turbine éolienne, il faut connaître la **densité de puissance du vent**. La **puissance de la turbine éolienne** ainsi que le **TSR (tip-speed ratio en anglais)** sont également décisifs pour le dimensionnement.

#### Densité de puissance du vent

Dans la pratique, il est avant tout intéressant de savoir quelle puissance la turbine éolienne fournit à quelles forces de vent. Afin de déterminer le bon dimensionnement de la turbine éolienne, il faut étudier les conditions de vent sur place et calculer la **teneur en énergie** ou la **densité de puissance du vent**.

La formule générale de détermination de l'énergie cinétique d'un fluide en écoulement est la suivante:

$$E = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

La densité de l'air permet de définir la teneur en **énergie spécifique e**. Cette dernière dépend du volume d'air.

$$e = \frac{1}{2} \cdot \rho_L \cdot v^2$$

On peut en déduire la **densité de puissance p**. Du point de vue de la physique, la densité de puissance correspond à une puissance par unité de surface.

$$p = \frac{1}{2} \cdot \rho_L \cdot v^3$$

**E** énergie, **m** masse, **v** vitesse du vent, **ρ<sub>L</sub>** densité de l'air, **e** teneur en énergie spécifique du vent, **p** densité de puissance

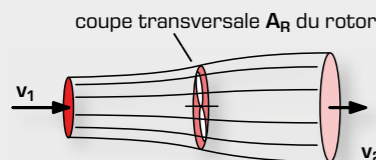
#### Puissance de la turbine éolienne

Les formules ci-dessus se rapportent à la puissance entrante du vent, avant l'arrivée du vent sur la turbine éolienne. Si l'on inclut la **surface du rotor** balayée par le vent **A<sub>R</sub>**, on peut calculer avec la densité de puissance **p**, de manière approximative, la **puissance P** de la turbine éolienne à une **vitesse du vent v** donnée.

L'énergie cinétique de l'écoulement d'air ne peut pas être intégralement exploitée. L'écoulement d'air/vent atteint la surface du rotor à la vitesse **v<sub>1</sub>**. On a alors un refoulement d'air, qui

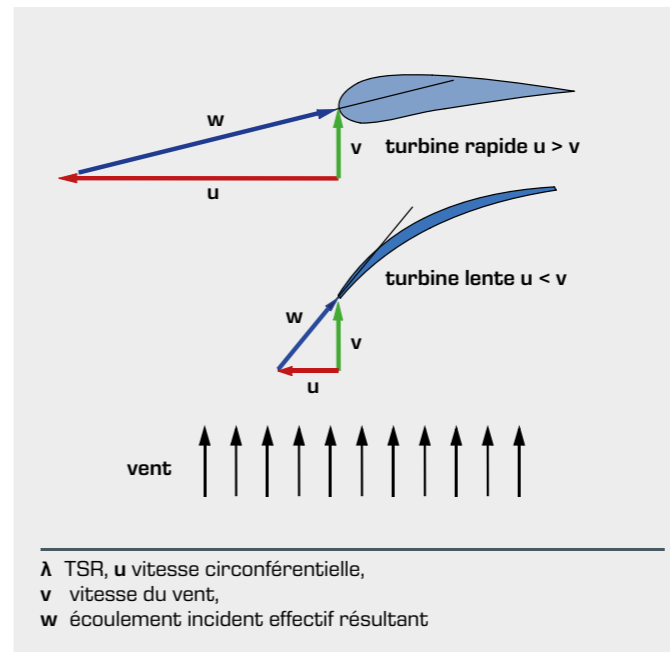
entraîne une baisse de la vitesse d'écoulement et déporte une partie de l'afflux d'air.

Selon la loi de Betz, pour des raisons liées à la mécanique des fluides, cette valeur ne peut dépasser un ratio de 16/27 ou 59,3%. Cela est pris en compte par le **coefficient de puissance** sans dimension **c<sub>p</sub>**. Il donne le rapport entre la puissance utilisée et la puissance incidente du vent et correspond au rendement de la turbine éolienne. Le coefficient de puissance réel **c<sub>p</sub>** dépend de la turbine et atteint dans le meilleur des cas 0,4 à 0,5.



$$P = A_R \cdot c_p \cdot p$$

Puissance de la turbine éolienne: **P** puissance, **A<sub>R</sub>** surface du rotor, **c<sub>p</sub>** coefficient de puissance, **p** densité de puissance



**λ** TSR, **u** vitesse circonférentielle,  
**v** vitesse du vent,  
**w** écoulement incident effectif résultant

#### TSR (tip-speed ratio en anglais)

Les turbines éoliennes sont caractérisées par leur forme et le nombre de leurs pales. La forme et la construction des pales déterminent le TSR de la turbine. Le **TSR λ** correspond au rapport entre la vitesse circonférentielle **u** et la vitesse du vent **v** dans la direction axiale.

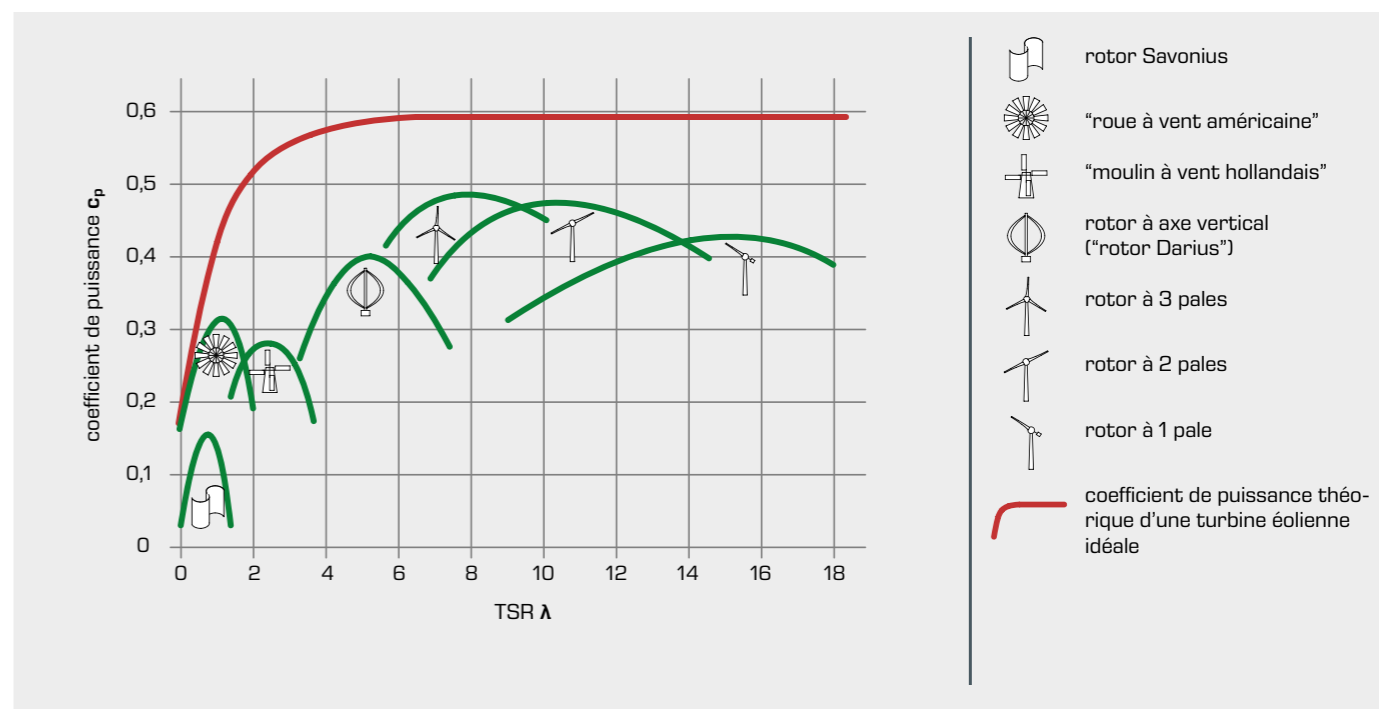
$$\text{TSR} \quad \lambda = \frac{u}{v}$$

Tip-speed ratio en anglais

Les vitesses sont celles observées en bout de pale. **w** est l'écoulement incident correspondant sur la pale.

Les turbines éoliennes modernes sont dimensionnées pour être des turbines rapides, tandis que le rotor Savonius ou la roue à vent américaine sont des turbines lentes.

### Coefficient de puissance en fonction du tsr pour différentes turbines éoliennes comparé à la valeur idéale



Plus le TSR est élevé, plus le profil aérodynamique de la pale doit être performant. Sinon les forces de traînée vont refaire baisser les coefficients de puissance potentiellement élevés. Le rotor à 3

pales s'est imposé comme solution optimale, également du point de vue des oscillations. Les rotors dont la turbine est très rapide ont des rendements relativement faibles.