



Aérodynamique des éoliennes

BEKHTI Ahmed

Attaché de Recherche

Division Energie Eolienne

E-mail: abekhti@cder.dz

Les pales constituent l'élément moteur principal des éoliennes. L'action du vent sur les pales se traduit par une force et un couple qui entraîne leur rotation. L'énergie cinétique du vent est ainsi transformée en énergie mécanique de rotation. Cette énergie 'tournante' est ensuite transformée en énergie électrique par un générateur (figure 1).

dégrader l'efficacité de la machine, il faut aussi faire une étude aéroélastique.

Il existe différentes techniques et méthodes de calcul aérodynamique des éoliennes. Trois approches sont présentées dans ce qui suit : la théorie du disque actif, la théorie BEM et les techniques CFD.

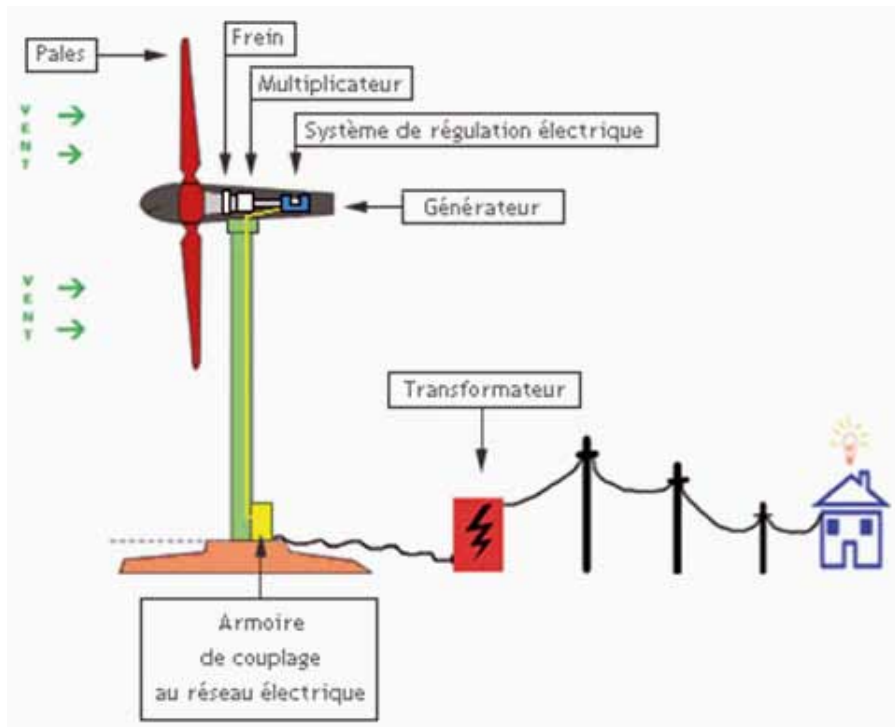


Figure 1 . Principe de fonctionnement des éoliennes (http://www.portedumar.fr/economie_eolienne_fonctionnement.htm)

Comme toutes les machines, les éoliennes ont un rendement que l'on appelle rendement aérodynamique. Pour estimer les performances aérodynamiques des éoliennes et en déduire l'énergie qui peut être fournie, il est nécessaire de faire une étude aérodynamique du rotor. Cette étude est également nécessaire pour optimiser le design des pales du rotor.

Ces dernières années, la taille des éoliennes a connu un développement important. Ces machines sont actuellement les plus grandes machines rotatives sur terre. De plus, les éoliennes fonctionnent dans un environnement naturel instable. Les pales du rotor face au vent subissent des charges importantes. Pour prédire certains phénomènes qui peuvent

(i) La théorie du disque actif permet d'estimer la puissance maximale théorique d'une éolienne, qui est limitée à $16/27$ de la puissance totale du vent traversant le rotor. C'est la limite de Betz. Cette théorie ne prend pas en considération les effets de la rotation. Le rotor est assimilé à un disque d'épaisseur nulle, à travers lequel on fait un bilan de la quantité de mouvement [1].

(ii) La théorie de l'élément de pale (ou méthode BEM pour Blade Element Momentum theory) est une méthode qui permet de calculer la puissance générée par une éolienne en fonction de la vitesse du vent. Elle est basée sur des relations fondamentales de la mécanique des fluides entre la vitesse de

l'écoulement, la vitesse de rotation de l'éolienne, la géométrie du rotor et les caractéristiques aérodynamiques des profils de pales. Ces coefficients caractéristiques sont obtenus par voie expérimentale pour différentes incidences ou par calcul numérique. La figure 2 représente la variation de la puissance mécanique que pourrait fournir l'éolienne Nordtank 500/41 [2], calculée par la méthode BEM. Cette méthode est très utilisée mais elle est sensible aux caractéristiques des profils de pales utilisées.

(iii) Les techniques CFD sont basées sur la résolution nu-

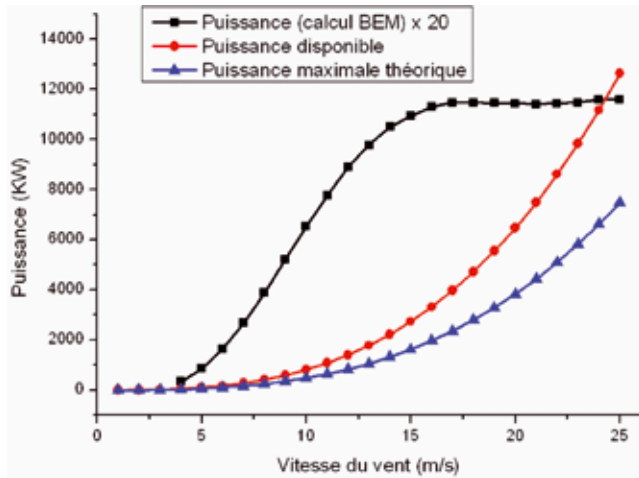


Figure 2. Puissance théorique calculée pour l'éolienne Nordtank 500/41

mérique des équations de Navier Stokes. Actuellement l'utilisation de ces techniques pour les études aérodynamiques des éoliennes a connu un avancement considérable avec le développement des différents codes CFD et surtout avec l'amélioration des performances des ordinateurs et des stations de calcul.

Les résultats des simulations numériques sont proches de la réalité. On peut prédire le comportement des pales sous l'action du vent, en temps réel.

Dans le cadre de travaux effectués au sein de l'équipe Aérodynamique au CDER, des simulations numériques de l'écoulement ont été effectuées pour un profil S809 spécialement développé par NREL pour la construction des pales d'éoliennes. La figure 3 montre les variations du coefficient de portance (CL) obtenues pour ce profil en oscillations autour d'un angle d'incidence α de 14° . Cette figure montre que lorsque la pale oscille, les forces aérodynamiques (courbe en bleu) peuvent augmenter considérablement comparées à un fonctionnement statique, i.e. sans oscillations [3, 4].

La figure 4 représente l'évolution temporelle du déplacement d'un cylindre, obtenue lors d'un calcul préliminaire en Interaction Fluide Structure effectué avec le code Saturne [5]. On peut voir ici qu'au bout de quelques secondes, le cylindre commence à osciller sous l'action du fluide. Après environ 70 secondes, l'amplitude de ces oscillations devient constante.

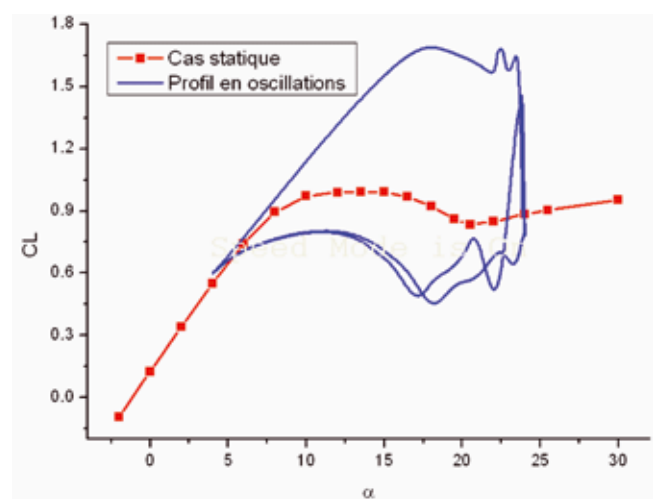


Figure 3. Variation du coefficient de portance

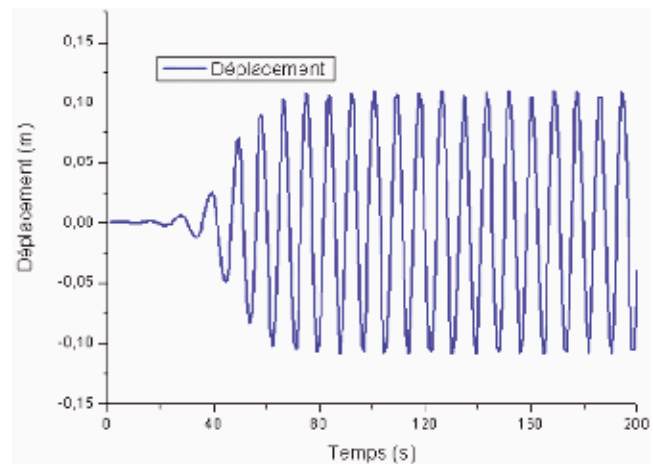


Figure 4. Déplacement d'un cylindre sous l'action d'un fluide en écoulement (calcul IFS)

Références

- [1] Martin O.L. Hansen. Aerodynamics of wind turbines. Edition Earthscan, 2008
- [2] Description of Nordtank 500/41 at Risø National Laboratories. Rapport technique, Version 06-10-2003
- [3] A. Bekhti. Simulation de l'écoulement autour d'un profil d'aile en oscillations forcées - Application aux rotors éoliens. Mémoire de Magister. Ecole doctorale Energies Renouvelables. ENP 2010
- [4] A. Bekhti et O. Guerri. « Simulation de l'écoulement autour d'un profil de pale d'éolienne », Revue des Energies Renouvelables. SMEE'10 Tipaza pp. 49-56. 2010
- [5] Code_Saturne : a Finite Volume Code for the Computation of Turbulent Incompressible Flows - Industrial Applications, International Journal on Finite Volumes, Vol. 1, 2004