



## Compte rendu de Stage effectué au centre de recherche ForWind Université d'Oldenburg, Allemagne

BEKHTI Ahmed  
Attaché de Recherche  
Division Energie Eolienne - CDER  
E-mail : a.bekhti@cder.dz

### Structure d'accueil

#### Centre de recherche ForWind, Université d'Oldenburg (Allemagne).

Le centre conduit des recherches fondamentales et appliquées en énergie éolienne destinées à l'industrie.

Les thématiques de recherche développées dans ce laboratoire portent sur quasiment tous les aspects liés aux systèmes éoliens tels que le gisement éolien, l'aérodynamique des éoliennes et aspects aéroélastiques, les structures portantes, les systèmes éoliens et dispositifs de contrôle/commande et l'intégration de l'énergie éolienne. L'étude d'interaction fluide-structure (IFS) appliquée aux pales d'éoliennes figure parmi les thèmes de recherche développés au sein du groupe CFD (Computational Fluid Dynamics) de ce laboratoire.

### Objectif du stage

L'objectif principal du stage est le perfectionnement en technique de simulation numérique de l'interaction fluide-structure (IFS) appliquée aux pales élastiques.

**Encadreur durant le stage** Professeur Joachim Peinke

### Travaux effectués

Durant ce stage, l'étude du comportement d'une pale en IFS a été effectuée par simulation numérique à l'aide du code libre OpenFoam et notamment sa version foamExtend. Les points suivants ont été principalement entrepris :

- Utilisation de la technique snappyHexMesh pour le maillage autour d'un profil NREL S809. Cette technique permet de générer un maillage d'un domaine de calcul et de le raffiner dans les endroits critiques autour de la pale (figure 1).
- Simulation en IFS du comportement d'un modèle 3D simplifié d'une pale élastique exposée à un écoulement. La pale, de 0.8 m d'envergure, est basée sur un profil elliptique.

Les calculs ont été exécutés sur le cluster du laboratoire. La simulation en IFS s'est effectuée dans deux répertoires: fluide et solide.

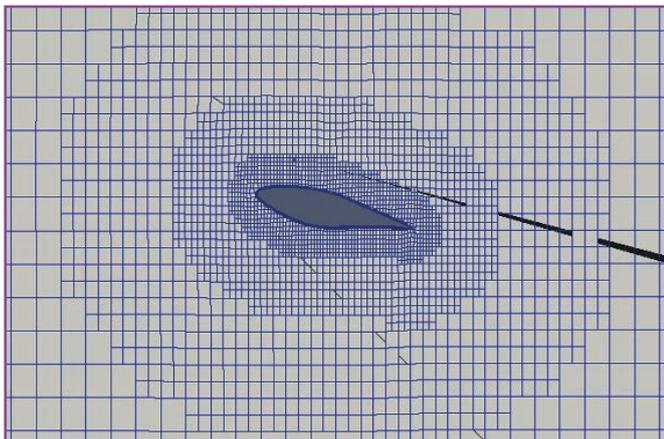


Figure 1: Maillage autour d'un profil S809 utilisant la technique snappyHexMesh

Mais un couplage fort a été appliqué pour déterminer le comportement du solide (pale) sous l'action des charges aérodynamiques. Ces charges, qui étaient provoquées par le fluide, ont entraîné une déformation de la pale élastique (figure 2).

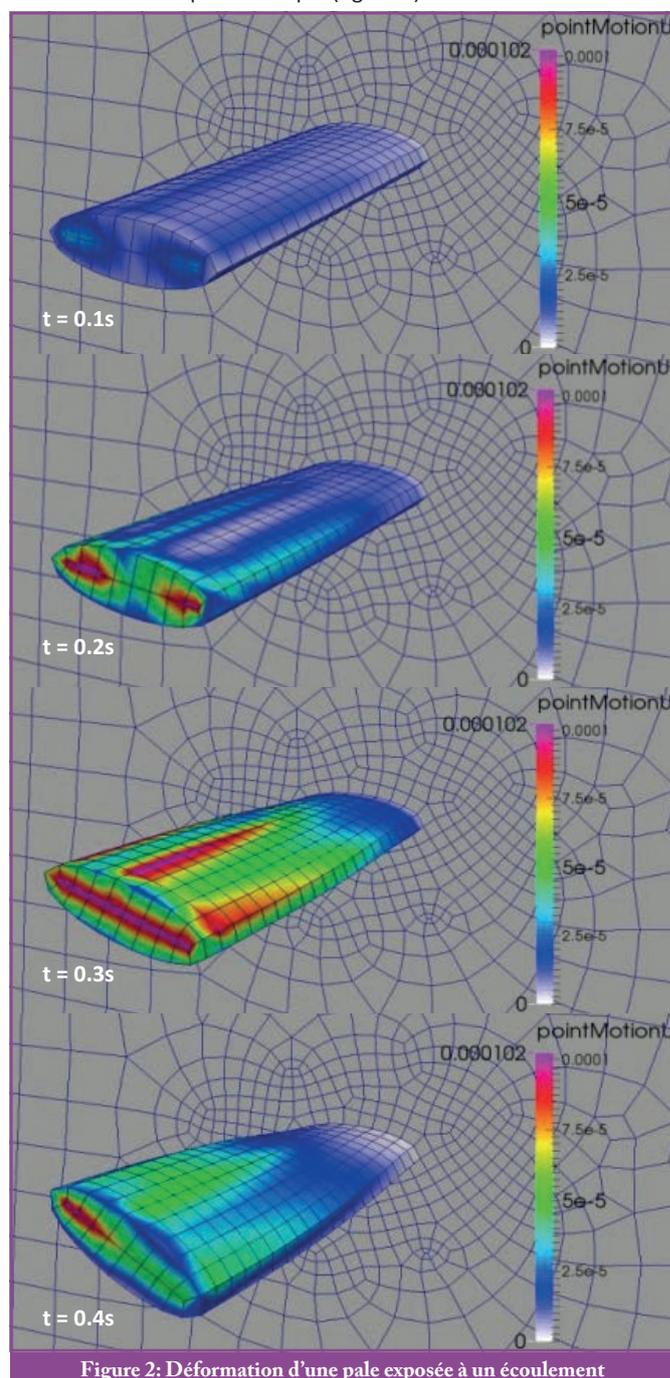


Figure 2: Déformation d'une pale exposée à un écoulement



## Conclusion

Cette étude sera appliquée par la suite à une pale réelle, un des thèmes de recherche actuellement développés au sein de l'équipe aérodynamique de la division énergie éolienne (1, 2). L'étude IFS appliquée aux pales d'éoliennes permet aux concepteurs de prédire le comportement aéroélastique des pales et par suite, de prendre les mesures nécessaires pour éviter les endommagements résultants des vibrations des pales.

Le stage s'est déroulé dans de bonnes conditions. Travailler avec le groupe CFD du laboratoire ForWind est une expérience fructueuse et utile.

## Références

1. A. Bekhti, O. Guerri & T. Rezzoug, Numerical investigation of the effect of temperature on a free vibrating wind turbine airfoil, 3rd International Renewable and Sustainable Energy Conference (IR-SEC'15), 10-15 December 2015, Maroc
2. A. Bekhti, O. Guerri & T. Rezzoug, Numerical simulation of fluid flow around free vibrating wind turbine airfoil, AIP Conference Proceedings ICNAAM 2014, ISBN 978-0-7354-1287-3, published mars 2015.

## Phénomène d'interaction Fluide-Structure (IFS)

Les rotors éoliens en fonctionnement sont soumis à un environnement aérodynamique instable. Les facteurs tels que la turbulence atmosphérique, la couche limite terrestre, les variations de la vitesse du vent, influent de manière significative sur l'écoulement qui agit sur les pales. A ces facteurs, il faut ajouter les variations de la direction du vent : lorsque le rotor s'oriente face au vent, il y a de grandes fluctuations de la vitesse relative agissant sur les pales. Ces dernières sont alors soumises à des variations cycliques de l'angle d'attaque qui conduisent à une aérodynamique instationnaire. En conséquence de ces conditions d'exploitation, des instabilités aéroélastiques peuvent survenir. Des instabilités aéroélastiques peuvent également survenir lorsque les éoliennes sont à l'arrêt, sous des vitesses de vent élevées. En outre, la taille et la flexibilité des pales d'éoliennes sont toujours croissantes. De plus, ces dernières sont constituées de matériaux composites dont le coefficient d'amortissement varie avec la température et diminue avec le vieillissement. Ceci a introduit des effets aéroélastiques sévères, causés par l'interaction des charges aérodynamiques, des déformations élastiques et de la dynamique inertielle. Il est donc nécessaire d'analyser la stabilité des pales d'éoliennes.

additionnelles qui induisent à leur tour de nouvelles déformations. D'autres forces aérodynamiques sont générées, etc. Ces interactions peuvent aller en s'atténuant jusqu'à atteindre un état stable ou au contraire augmenter jusqu'à divergence et destruction de la structure. On parle alors de problème de stabilité aéroélastique. Les instabilités rencontrées sur les pales d'éoliennes peuvent être des oscillations en torsion, en battement (flapwise), des oscillations avant-arrière (lead-lag ou edgewise) ou des oscillations combinées (flutter). Des illustrations de ces instabilités sont données dans les figures 1 et 2.



Figure 2b: Oscillations avant-arrière (2)



Figure 2a: Oscillations en battements (2)

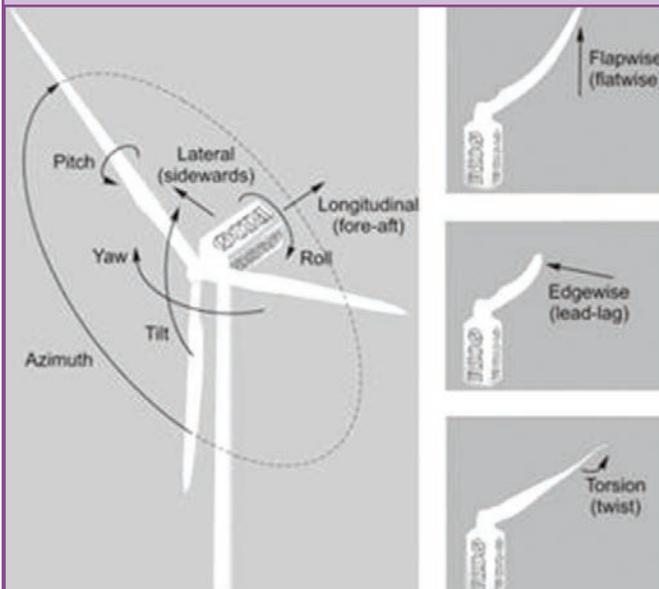


Figure 1: Différents types d'oscillations des éoliennes (1)

Les instabilités aéroélastiques (ou phénomène d'interaction fluide – structure) se produisent lorsque, sous l'action d'un fluide, les déformations de la structure induisent des forces aérodynamiques

La modélisation des phénomènes aéroélastiques est basée sur le couplage entre les forces aérodynamiques (fluides) et les forces élastiques (structures). A cet effet, un code de résolution des équations pour le fluide (ou code CFD) a été couplé avec un code de résolution de la dynamique de la structure. Le code de dynamique est utilisé pour déterminer le mouvement de la structure (pale de l'éolienne). Les efforts aérodynamiques sont évalués à l'aide du code CFD. La réponse de la structure est déterminée en temps réel, à chaque pas de temps. On parle alors de technique de couplage fort.

## References

1. [http://www.energy.kth.se/compedu/webcompedu/S5\\_Aeroelasticity/B8\\_Wind\\_Turbines\\_Aerolasticity/C1\\_Introduction\\_to\\_Aerolasticity\\_of\\_Wind\\_Turbines/106\\_1\\_Introduction\\_to\\_Aeroelasticity\\_of\\_Wind\\_Turbines.htm](http://www.energy.kth.se/compedu/webcompedu/S5_Aeroelasticity/B8_Wind_Turbines_Aerolasticity/C1_Introduction_to_Aerolasticity_of_Wind_Turbines/106_1_Introduction_to_Aeroelasticity_of_Wind_Turbines.htm)
2. H.-G. Busmann, C. Kensche, A. Berg-Pollack, F. Bürkner, F. Sayer, K. Wiemann, Testing of Rotor Blades, DEWI Magazin Nr. 30, Februar 2007.

Dr GUERRI Ouahiba