Sujet de stage M2, 6 mois, 2022 - Centrale Lyon

Simulation numérique de la propagation du bruit éolien dans l'environnement : prise en compte des effets 3D

Contexte

La production d'énergie renouvelable est un des enjeux majeurs actuels, et l'énergie éolienne prend de plus en plus d'importance. On estime que jusqu'à 24% de l'électricité de l'Union Européenne pourrait provenir de l'éolien d'ici 2030, soit 10% de plus qu'aujourd'hui. L'éolien contribuerait à une part significative de l'objectif de 32% d'énergie renouvelable fixé par l'accord de Paris sur le climat [1]. Un des freins importants à son développement est le bruit éolien, qui est source de gène chez les riverains [2] et qui impacte aussi la biodiversité [3]. Ainsi, la réglementation actuelle contraint les industriels à tourner à bas-régime sur certaines installations existantes, diminuant considérablement leur rendement, et rend complexe le choix de site pour de nouveaux parcs éoliens.

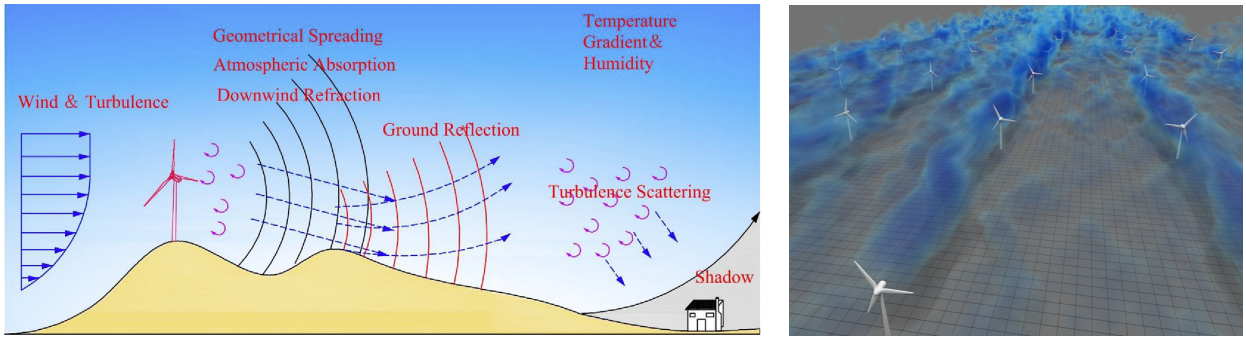

FIGURE 1 – (gauche) Schéma des mécanismes affectant l'écoulement atmosphérique et la propagation du bruit émis par une éolienne [4] et (droite) écoulement simulé par une approche LES dans un parc éolien, avec les régions basse vitesse en bleu [5].

Il est donc nécessaire de pouvoir correctement prédire la propagation du bruit généré par une éolienne dans l'atmosphère, afin de mieux comprendre ses mécanismes pour le réduire, mais aussi afin de mener des études d'impact acoustique fiables lors de la conception de nouveaux parcs. Pour une prédiction fiable, plusieurs éléments doivent être pris en compte comme l'illustre la Fig. 1a. En effet, les effets météorologiques, tels que la variation du vent, de la turbulence ou de la température avec l'altitude ou le temps, ont un impact important sur la propagation du son. La présence de l'éolienne affecte également l'écoulement atmosphérique, comme le montre la Fig. 1b. De plus, la topographie et l'impédance du sol peuvent avoir un effet significatif, à la fois sur l'écoulement et directement sur la réflexion des ondes acoustiques au sol.

Afin de prédire le bruit l'éolien, des simulations numériques sont donc nécessaires. De nombreuses méthodes numériques existent pour prédire la propagation acoustique dans l'atmosphère [6]. L'état de l'art pour l'éolien [7, 8] se base sur l'utilisation de l'équation parabolique, qui est une méthode efficace pour la prédiction de la propagation acoustique dans l'atmosphère. Les modèles existants se limitent à une approche 2D, en calculant la propagation dans le plan vertical contenant la source et le récepteur. Cette approche néglige les effets de propagation transverse : c'est une hypothèse forte, notamment car l'écoulement autour de l'éolienne présente un fort aspect tridimensionnel.

Des modèles paraboliques tridimensionnels (3DPE) ont été développés pour prendre en compte les effets de réfraction et de convection dus à l'écoulement au dessus d'une topographie irrégulière [9], comme illustré sur la Fig. 2. Cette méthode permet de correctement résoudre les effets de propagation 3D dans la couche limite atmosphérique, ce qui n'est pas pris en compte par la plupart des modèles existants.

Travail proposé

L'objectif de ce stage est d'appliquer un modèle 3DPE pour déterminer la propagation acoustique du bruit généré par une éolienne dans la couche limite atmosphérique et de caractériser les effets tridimensionnels de propagation.

Pour cela, on se basera sur l'approche d'équation parabolique 3D proposée par C. Khodr pendant sa thèse. Celle-ci repose sur une résolution de l'équation parabolique 3D standard par une méthode itérative utilisant des différences finies implicites. Cette approche permet d'intégrer des profils tridimensionnels de température et de vent. Pour le stage, les données atmosphériques sont fournies par des simulations aux grandes échelles (LES) réalisées par l'Université de Twente, afin d'avoir un écoulement caractéristique autour de l'éolienne, avec en particulier la présence de sillages représentés sur la Figs. 1b.

Plusieurs paramètres seront considérés dans l'étude : vitesse du vent incident, stratification atmosphérique et conditions de sol (impédance). Les effets tridimensionnels seront analysés par l'introduction de grandeurs physiques pertinentes.

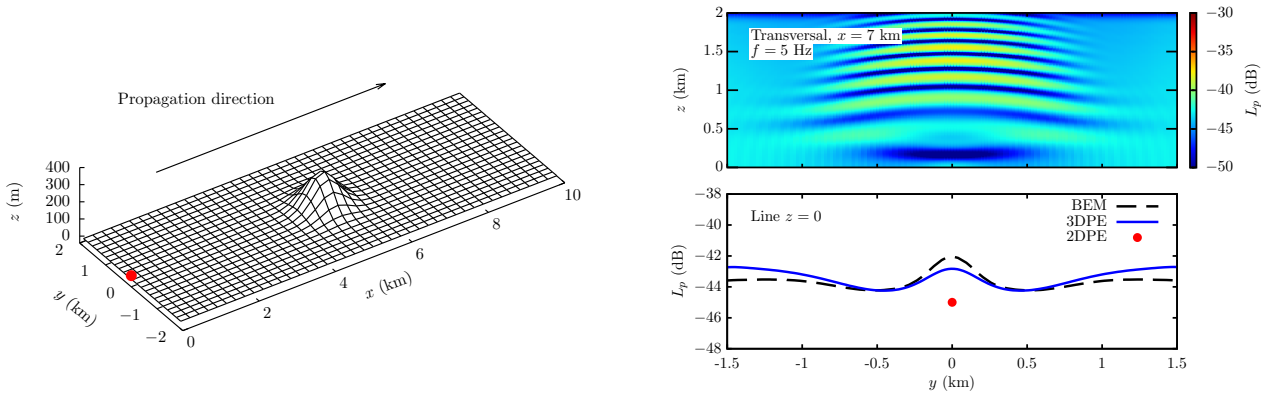

FIGURE 2 – (gauche) Géométrie du problème et (droite) exemple de variation du niveau sonore obtenue avec le code parabolique 3D pour la propagation au dessus d'une colline [9].

Le stage se déroulera au LMFA (Laboratoire de Mécanique des Fluides et d'Acoustique) sur le campus de l'Ecole Centrale de Lyon. Il est effectué dans le cadre d'une collaboration entre le LMFA et le groupe Physics of Fluids de l'Université de Twente aux Pays-Bas.

Profil recherché

Étudiant en Master 2 ou équivalent avec une spécialisation en acoustique et/ou en mécanique des fluides. Des compétences en programmation sont requises, en particulier en Python, et une connaissance de Fortran sera également appréciée.

Encadrement

- Codor Khodr, post-doctorant, équipe acoustique du LMFA, ECL, codor.khodr@ec-lyon.fr
- Ariane Emmanuelli, enseignante-chercheuse, équipe Fluides Complexes et Transfert du LMFA, ECL, ariane.emmanuelli@ec-lyon.fr
- Didier Dragna, enseignant-chercheur, équipe acoustique du LMFA, ECL, didier.dragna@ec-lyon.fr

Références

[1] Wind energy technology development report, low carbon energy observatory, Wind Energy Technology Development Report, Low Carbon Energy Observatory, 2019.

[2] M. Pawlaczyk-Łuszczyńska, K. Zaborowski, A. Dudarewicz, M. Zamojska-Daniszewska, and M. Waszkowska. Response to noise emitted by wind farms in people living in nearby areas. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2018.

[3] L. Hanna, L. Feinberg, J. Brown-Saracino, F. Bennet, R. May, and J. Köppel. Results of IEA wind adaptive management white paper. Technical report, International Energy Agency Wind Implementing Agreement, 2016.

[4] W. Z. Shen, W. J. Zhu, E. Barlas, and Y. Li. Advanced flow and noise simulation method for wind farm assessment in complex terrain. *Renewable Energy*, 143 :1812–1825, 2019.

[5] R. J. A. M. Stevens, D. F. Gayme, and C. Meneveau. Effects of turbine spacing on the power output of extended wind-farms. *Wind Energy*, 19(2) :359–370, 2015.

[6] E. Salomons. *Computational Atmospheric Acoustics*. Dordrecht : Kluwer Academic Publisher, 2001.

[7] E. Barlas, W. J. Zhu, W. Z. Shen, M. Kelly, and S. J. Andersen. Effects of wind turbine wake on atmospheric sound propagation. *Applied Acou.*, 122, 2017.

[8] B. Kayser, Gauvreau B, and D. Ecotière. Sensitivity analysis of a parabolic equation model to ground impedance and surface roughness for wind turbine noise. *J. Acoust. Soc. Am.*, 146(5) :3222–3231, 2019.

[9] C. Khodr, M. Azarpeyvand, and D. N. Green. An iterative three-dimensional parabolic equation solver for propagation above irregular boundaries. *J. Acoust. Soc. Am.*, 148(2) :1089–1100, 2020.